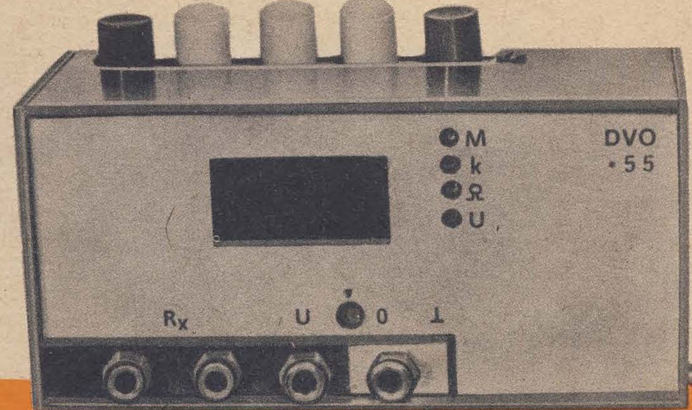


Bauplan 55



Digital-Minimeter – ganz einfach

Klaus Schlenzig

Inhalt

1. Einleitung

Der Titel dieses Bauplans ist enger gefaßt als sein Inhalt. Es geht um die Nutzung eines hochintegrierten Schaltkreises, der nun schon zur täglichen Industriepraxis gehört.

Inzwischen stehen dort bereits Schaltkreise der »nächsten Generation« zur Verfügung. Vieles, wofür der in diesem Bauplan behandelte C 520 D bisher (auch) verwendet werden mußte, kann sicherlich mit jenen Typen günstiger realisiert werden. 3 Digit Anzeigeumfang sind schließlich, von diesem Standpunkt aus gesehen, nicht allzuviel, einerseits. Andererseits hat der C 520 D inzwischen in meßwertverarbeitenden Systemen einen festen Platz gewonnen. BCD-Ausgänge, deren aktueller Wert noch dazu auf Wunsch vom Schaltkreis bis zur nächsten Abfrage gehalten wird, lassen vor allem industriell viele weit über die Nutzung als nur einfach anzeigendes Meßgerät hinausgehende Anwendung zu. Der C 520 D dürfte damit also in nächster Zeit keineswegs unaktuell werden. Doch die Bereitstellungssituation wird sich entspannen. Unter anderem, weil der Hersteller nicht gerade kleine Stückzahlen davon produziert.

Ein Bauplan, der damit erstmals seinem Leserkreis die Möglichkeit bietet, mit minimalem Aufwand ein jederzeit weiter ausbaufähiges modernes Meßgerät maximalen Gebrauchswerts mit Ziffernanzeige zu schaffen (noch dazu preisgünstiger als analoganzeigende Geräte des Handelsangebots!), ist darum genau jetzt am Platze. Auch wenn er einen gewissen Vorgriff darstellt auf einige Informationen einer Broschüre, die Anfang nächsten Jahres zu diesem Schaltkreis erscheinen wird. Dort findet der Leser dann aber nicht nur eine wesentlich umfangreichere Übersicht über den Einsatz des C 520 D. Darüber hinaus kommen in dieser Broschüre in der »Peripherie« des C 520 D weitere neue mikroelektronische Bauelemente zum Einsatz, die zur Zeit der Erarbeitung des Bauplans nicht nur für den Amateur noch nicht greifbar sind. Sie führen zu vorteilhafteren Gesamtschaltungen, z. B. bei der Widerstands- oder bei der Temperaturmessung, und begründen mit den Veröffentlichungszeitpunkt. Es erschien daher sinnvoll, zu dieser Thematik in den vorliegenden Bauplan nicht mehr allzuviel an bisher gebräuchlichen Schaltungspraktiken einzubringen.

Was bleibt, ist noch immer so interessant und vielseitig, daß es einen Bauplan genau jetzt rechtfertigt. Noch dazu, weil in der bewährten Kopplung mit »typofix« wieder ätzfeste Leiterplattenbilder vorliegen werden, die den Gebrauch des Gebotenen erleichtern. Einige dieser Leiterbilder können im vorliegenden Spezialfall dann auch dem Broschürenleser Unterstützung bieten. Im Mittelpunkt dieses Bauplans steht ein Minimeter für die Brusttasche, nicht viel dicker als ein Taschenrechner. Es wird mit 4 bis 6 V batteriebetrieben und benötigt den für LED-Anzeigen extrem niedrigen Batteriestrom von nur etwa 20 mA. Das wird durch Einsatz einiger dem Amateur jetzt zugänglicher Bauelemente möglich, die mit ihren Eigenschaften genau das Zielvorhaben treffen. Unter anderem wird ein CMOS-7-Segment-Dekoder verwendet, der selbst nahezu keinen Batteriestrom braucht, in einem weiten Spannungsbereich arbeitet und als Amateurtyp seit Mitte 1983 für nur 7,50 M erhältlich ist. Der wichtigste und in seiner Auswirkung auch durchaus legitime Vorgriff auf die genannte Broschüre jedoch wird in der Nutzung der Erkenntnis bestehen, daß mit dem C 520 D trotz seiner relativ hohen Eingangsströme Eingangswiderstände im Megaohmbereich realisierbar sind.

Viele Anwender unterlagen bisher dem Fehlschluß, daß Objekte mit mehr als 10 kΩ Quellwiderstand am C 520 D infolge dieser Ströme bereits merkbare Meßwertfälschungen bringen. Der Autor weist nach, daß der Schaltkreis selbst mit seiner Meßrate und der ihr gegenüber minimalen Aktivzeit den Schlüssel zu seiner eigenen »Aufwertung« liefert.

Insgesamt wird dieser Bauplan Hilfestellung beim vielseitigen Einsatz eines Bauelements der Mikroelektronik liefern, mit dem manches in der Amateurpraxis eine völlig neue Qualität annehmen kann.

2. Das Wichtigste zum C 520 D

Die analoge Information von Zeigermeßwerken hat man bekanntlich bereits im vorigen Jahrhundert zur Information über Ströme, Spannungen und von ihnen abgeleitete Größen genutzt. Sie hat auch heute noch ihren Sinn. Sei es, daß eine Tendenz (Zu- oder Abnahme) schnell erkannt werden soll, wie beim Maximum- oder Minimumabgleich, oder daß man auf einen Blick sehen will, ob sich ein Vorgang noch im »Zulässigen« bewegt und mit welcher Sicherheitsspanne. Wenn der Zeiger eines Fernthermometers ganz kurz vor dem roten Bereich steht, erkennt man das auch ohne Zahleninformation. Man reagiert der Lage entsprechend – viel früher vielleicht, als ein Grenzwertsignal ausgelöst werden würde. (Selbst Zeigerinstrumente haben aber für solche Einsatzfälle inzwischen elektronische Konkurrenz im Ansteuerschaltkreis A 277 D erhalten.)

Dieses Meßprinzip versagt, wenn eine Regeleinrichtung diese Temperatur aus technologischen Gründen extrem genau halten soll. Die optische Information kann zwar wie bisher ausgegeben werden, doch für den Regelmechanismus sind andere Organe nötig. Hier ist die Digitaltechnik im Vorteil. In digitale Informationen umgesetzte Meßwerte kann man störsicher übertragen und beliebig »verarbeiten«. Ein Analog-Digital-Wandler liefert im Beispiel einen binär kodierten Wert, der der gemessenen Temperatur entspricht. Er läßt sich in weiteren Schaltkreisen, z. B. mit einem dort gespeicherten Sollwert, vergleichen. Bei Abweichungen liefern dadurch ausgelöste Signale – zunächst noch digital, am Stellort wieder analog gewandelt – die nötigen Regelbefehle. Auch bei der Entwicklung, in der Fertigung und beim Service elektronischer Geräte geht es zunehmend um genaue Meßwerte. Sofern sie sich zeitlich nicht zu schnell ändern (dann sind andere Meßmethoden erforderlich), kann man sie heute mit geringem Aufwand sehr genau ermitteln, mit ihnen rechnen (»intelligente« Meßgeräte tun gegenwärtig bereits auch das) und auf sie geeignet reagieren. Hier sind die digitale Aufbereitung des Meßwerts und die Ausgabe in einer mehrstelligen, eindeutigen Ziffernanzeige zweifellos der Zeigerinstrumentaussage mit ihren exemplar- und system- sowie auch ausschlagabhängigen Ungenauigkeiten weit überlegen, ganz abgesehen von der mechanischen Beanspruchung beim oft rauhen Werkstattbetrieb. Hinzu kommt, daß Zeigerinstrumente – vereinfacht gesagt – nicht zu Hunderten auf einer Siliziumscheibe in einem weitgehend automatischen Prozeß entstehen können. Sie sind handarbeitsintensiv, und allein das spricht heute gegen sie. Stiegen Aufwand und Preis bei einem Zeigerinstrument rapide, je genauer und empfindlicher (das aber dann auch im negativen Sinne) der Typ, ist die Genauigkeit eines digitalen Voltmeters sozusagen »systemimmanent«.

Nun interessiert den Anwender aber nicht nur das Ausgangsverhalten (die Anzeige). Eine weitere Frage betrifft Eingangsdaten. Mit Stromdämmungen von 10 bis 20 kΩ/V, also mit 100 oder 50 µA Eigenstrombedarf bei Vollausschlag, rechnet der Praktiker bei Betriebsmeßgeräten. Die dadurch bedingten Fälschungen der zu messenden Werte kennt er und kann sie daher berücksichtigen. Ihnen gegenüber ist der Anzeigefehler (also eine Größe des Ausgangsverhaltens) meist weit geringer.

Ein gutes digitales Betriebsmeßgerät soll einen Eingangswiderstand in der Größenordnung von 10 MΩ haben. Diese Forderung entstand aus einer Reihe praktischer Gründe. Auf der einen Seite fälschen 10 MΩ bei einer zu messenden Spannung von z. B. 10 V das Meßergebnis erst merklich, wenn der Innenwiderstand am Meßpunkt über 100 kΩ liegt. 10 V/10 MΩ ergeben ja 1 µA, und 100 mV Meßfehler bei 10 V sind meist vertretbar. Würde man den Eingangswiderstand auf 100 MΩ festlegen, käme das zweifellos manchen Meßaufgaben entgegen. Nur gibt es einige praktische Hindernisse. 100 MΩ können bereits die Größenordnung eines realen Isolierstoffs sein. 100 MΩ als Meßwiderstand zeit-, spannungs- und temperaturkonstant zu realisieren hat ebenfalls erhebliche Probleme. Bei höheren Spannungen kommt man um solche Widerstände allerdings nicht herum. Sie sind dann Bestandteil vom Hersteller geeichter Tastköpfe.

Um es vorwegzunehmen – 10 MΩ Eingangswiderstand lassen sich beim C 520 D nicht ohne weiteres erreichen. Nicht einmal näherungsweise. Man kann das akzeptieren, zumal es Mittel dagegen gibt. Bei einem großen Teil seiner Anwendungsfälle spielt es sowieso keine Rolle.

Man darf auch nicht der Täuschung unterliegen, die ein nur flüchtiger Blick auf das Datenblatt leicht provoziert: 100 MΩ Eingangswiderstand beziehen sich nicht auf im Einsatz erzielbare Werte! Die Sache ist komplizierter. Hinter den beiden Eingangsanschlüssen des C 520 D verbergen sich je ein Basisanschluß eines pnp-Transistors; von ihnen nach Masse muß ein Strom fließen können, damit das System funktioniert. Das entspricht der von bipolaren OPV her bekannten Tatsache: ohne Eingangsstrom kein ordnungsgemäßer Betrieb! Dieser Eingangs-Basis-Strom beträgt (während der Meßzeit innerhalb des Arbeitszyklus) etwa 100 nA. Das sind also 0,1 μA. Als »Fehlstrom« über einen Widerstand von 1 MΩ geleitet, ergibt sich eine Fehlerspannung von 0,1 V, und auf diese Weise kann man das vorhandene Exemplar auch direkt »sich selbst messen« lassen. Bei 1 V Meßbereich (exakt 0,999 V) ist das ein unzulässig hoher Fehler. Der Hersteller empfiehlt daher, den H-Eingang mit nicht mehr als 10 kΩ abzuschließen (bzw. einen Meßwandler mit $R_i < 10$ kΩ vorzusehen). Der L-Eingang muß niederohmig mit Masse verbunden werden, da der Vergleich mit OPV eben doch nur teilweise stimmt.

Aber das sind bereits Einsatzdetails. Glücklicherweise liegt in der Bemerkung »während der Meßzeit« eine Chance, die Eingangsdaten zu verbessern. Dazu später mehr. Außerdem läßt sich der C 520 D mit weiteren modernen Schaltkreisen sowohl eingangsseitig wie auch ausgangsseitig »veredeln«. Lediglich ein BIFET-OPV im 8poligen DIL-Gehäuse ist erforderlich, um 10 MΩ-Eingangswiderstand ohne große Probleme und auch bei Meßbereichen unterhalb von 999 mV zu realisieren. Er kommt noch dazu mit der positiven Spannung aus, die auch der C 520 D braucht. Eine negative Hilfsspannung, z. B. einer zweiten kleinen Batterie, wird mit nur etwa 2 mA belastet.

Der C 520 D wird weitgehend in I^2L-Technologie gefertigt. Diese bipolare Technik erleichtert (gegenüber MOS-Technologien) die Realisierung eines präzise arbeitenden Analogteils ohne den bei anderen Bipolartechnologien nötigen großen Flächenbedarf auf dem Chip. I^2L bedeutet außerdem niedrige Betriebsspannung und relativ kleinen Strombedarf (wenn auch nicht extrem niedrig). Im Zusammenspiel mit bei weniger günstigen Lichtverhältnissen gut erkennbaren LED-Anzeigeelementen wird wenigstens nochmals der gleiche Strom gebraucht bzw. bis zu einer Größenordnung mehr, je nach Anzeigetyp. Nicht immer akzeptiert werden muß dagegen heute der Eigenstrombedarf des Dekoders zwischen C 520 D und Anzeige. Für solche kritischen Fälle des Batteriebetriebs aber gibt es inzwischen BCD-zu-7-Segment-Dekoder in CMOS-Technologie. So kann der Anwender heute zwischen dem »klassischen« D 147 D, dem Konstantstrom-Dekoder der Reihe D 345 D bis D 348 D und dem sparsamen U 405 11 D wählen.

2.1. Innenschaltung und Daten

Bild 1 zeigt die Übersichtsschaltung des C 520 D. Die Anschlußbelegung des 16poligen DIL-Schaltkreises geht aus Bild 2 hervor. Gemäß den Erfordernissen des Dual-slope-Verfahrens enthält der C 520 D einen Analogteil mit Komparator, der den Zählerteil steuert, einen Oszillator für die Abläufe im Zähler, einen Multiplexer zur Einsparung externen Dekoderaufwands und open-collector-Ausgangsstufen für die BCD-Informationen sowie für die serielle, dem Multiplexbetrieb entsprechende Ansteuerung der Anzeigeelemente.

Die vom Komparator, Oszillator und Zähler beeinflußte Kontroll- und Steuerlogik greift in den Analogteil ein. Dort steuert sie die Wandlungsrate (2 bis 7 bzw. 48 bis 168 Messungen je Sekunde) und die Stromquelle zur Kondensatoraufladung. Der Nullpunkt der Anzeige wird mit einem externen Potentiometer im U/I-Wandler eingestellt, und ein Stellwiderstand gestattet die Einstellung des exakten Endwerts (also der Steigung der Wandler-Geraden). Der U/I-Wandler formt während der fest vorgegebenen Wandlungszeit t1 aus der anliegenden zu messenden Spannung U_X einen Strom, der linear von U_X abhängt. Mit diesem Strom entlädt (!) er den extern am Schaltkreis liegenden Integrationskondensator C, der bis dahin auf die Schwellspannung des Komparators aufgeladen war. Die Spannung von C nimmt also während t1 linear ab (Bild 3). Ist diese Zeitspanne abgelaufen, wird der Kondensator mit einem im Schaltkreis erzeugten Konstantstrom wieder aufgeladen. Im Augenblick der Umschaltung auf »Laden« beginnt der vorher auf 0 stehende Zähler zu zählen. Er wird gestoppt, wenn wieder U_{Schw} erreicht ist.

2.2. Einige Dateninformationen

Der C 520 D wird charakterisiert durch Grenzwerte, Betriebsbedingungen und elektrische Kennwerte.

In diesem Bauplan wurde darauf verzichtet, alle sonst zu einem neu eingeführten Bauelement aufgezeigten Daten und Kurven wiederzugeben. Unter anderem dafür wird es die Anfang nächsten Jahres erscheinende »electronica«-Broschüre geben. Unter Verzicht auf die Tabellenform sei aufgezählt, was unmittelbar wichtig scheint:

Grenzwerte
Betriebsspannung 0 bis + 7 V;
Eingangsspannung an 11 oder 10 −15 bis +15 V;
Spannung an den BCD- und Digit-Ausgängen sowie an Anschluß 6
0 bis +7 V;
Betriebstemperaturbereich 0 bis +70 °C;
im Arbeitsbereich mit 4,5 bis 5,5 V Betriebsspannung und bei 25 °C: Stromaufnahme maximal 20 mA (U6 = 5 V);
Gleichtakteingangsspannung -200 bis +200 mV (inzwischen werden etwa 280 mV zugestanden, was z. B. die Temperaturanzeige in °C bei Aufnehmern erleichtert, die »x mV/K« liefern!);
L-Ausgangsspannung der BCD-Ausgänge 0,4 V bei I_{0L} = 1,6 mA;
Fehler 0,1 % ± 1 Digit (nach Nullpunkt- und Endwertabgleich).
Unter Amateurbedingungen zulässige »zerstörungsfreie« Abweichungen von den Vorgaben führen bisweilen zu Einsatzvorteilen, die die auftretenden Nachteile meist kompensieren. So arbeitet der C 520 D z. B. (exemplarabhängig) auch noch etwas unterhalb von 4 V (3,8 V), wobei sich die Linearität gegenüber 5-V-Betrieb kaum verschlechtert. Für Einzelstücke kann daher durchaus im mobilen Betrieb noch eine Flachbatterie ausreichend sein, obwohl dieser Typ inzwischen nicht mehr in Neuentwicklungen eingesetzt werden darf. Oder man nutzt die günstige U/t-Kennlinie von 0,5-Ah-Bleiakkumulatoren, d. h., 2 davon können in Spezialfällen eine ausreichende Spannungsquelle abgeben.

Diese Sonderfälle sind hauptsächlich in Verbindung mit einem stromsparend ausgelegten Anzeigeteil von großer Bedeutung. Darauf wird an geeigneter Stelle in diesem Bauplan noch eingegangen werden (s. Abschnitt 3.2.).

2.3. Multiplexbetrieb

Man unterscheidet bei einer 3-Digit-Ausgabe im allgemeinen zwischen MSD, NSD und LSD, also zwischen most, next und least significant digit. M bedeutet daher die Hunderter-, N die Zehner- und L die Einerstelle. Der C 520 D gibt jeweils innerhalb des in etwa 5 ms ablaufenden Multiplexzyklus zuerst die Hunderter-, dann die Einer- und erst danach die Zehnerstelle aus. Multiplexbetrieb gestattet es, mit nur einem Dekoderbaustein auszukommen.

2.4. Sonderzeichen

Ein Nachteil des C 520 D besteht darin, daß er im negativen Eingangsspannungsbereich nur bis 99 mV verarbeitet. Das MSD liefert dabei ein Zeichen, das man als Minuszeichen zu interpretieren hat. Beim üblichen 7-Segment-Dekoder D 147 D wird es als kleines C (c) ausgegeben (Segmente d, e, g), denn es steht als HLHL (10) an den BCD-Ausgängen. Setzt man dagegen einen der neuen Dekoder der Reihe D 345 D bis D 348 D ein, so erhält man bei D 347 D und D 348 D ein echtes Minuszeichen (Segent g.), während D 345 D und D 346 D ein großes A liefern. Das ist auch der Fall, wenn ein CMOS-Dekoder vom Typ U 40511 D eingesetzt wird. Man kann die Querbalken noch gut als Minus deuten. HLHL in allen 3 Stellen erscheint bei negativem Überlauf, der ab −100 mV gegeben ist.

Positiven Überlauf (ab +1000 mV) signalisiert die Anzeige durch HLHH (11), und das ergibt ein um die vertikale Achse gedrehtes C in allen Digits, sofern ein D 147 D benutzt wird. EEE macht daraus der D 347 D (bzw. der D 348 D), was man z. B. als »Error« deuten kann. Bei D 145 D und D 146 D sowie beim U 40511 D dagegen ergibt sich bbb, sinnfällig als »Bereichsüberschreitung« zu interpretieren.

2.5. Einsatzhinweise

Der Hersteller weist darauf hin, daß die Eingänge H und L keine echten Differenzeingänge sind. Das drückt sich darin aus, daß man nur ±200 mV Gleichtakteingangsspannung zuläßt, allenfalls aber ±280 mV. Sich ändernde Gleichtaktspannungen haben Einfluß auf die Anzeige, da die »common mode rejection« (CMR) für 0 und 900 mV Eingangsspannung unterschiedliche Werte aufweist (48 bzw. 42 dB). Eine konstante Gleichtaktspannung im zulässigen Bereich läßt sich dagegen durch Neuabgleich in Nullpunkt und Endwert sozusagen neutralisieren. Dieser Umstand und das Zugeständnis bis zu ±280 mV sind wichtige Voraussetzungen für die Realisierung z. B. eines in °C anzeigenden Thermometerbausteins mit einem 1 mV/K abgebenden Temperaturfühler.

Sehr wesentlich ist das Eingangsverhalten des C 520 D. Zwar beansprucht er einerseits den nicht gerade kleinen Eingangsstrom I_{IH} von typisch 124 nA, der exemplarabhängig sogar 200 nA annehmen kann. Andererseits wird aber das Eingangssignal über nur 1 ms integriert, und außerhalb dieser »Probenentnahme« fließt kein Eingangsstrom. Aus dieser Tatsache läßt sich eine vorteilhafte Schaltungsauslegung ableiten, wie bereits angedeutet, die zu höheren zulässigen Eingangswiderständen für Meßteiler führt. I_{IH} hängt auch von der Größe der Nullpunktabgleichwiderstände ab. Sie dürfen in der Summe jedoch 100 kΩ nicht übersteigen, wenn sich die Linearität nicht merklich verschlechtern soll. Da der mögliche Nullpunktbereich relativ groß ist, können die Begrenzungswiderstände nicht allzu große Bruchteile des Potentiometerwerts beanspruchen. Überhaupt setzen Präzisionsanwendungen Spindeltriebpotentiometer voraus. Dagegen ist die Betriebsspannungsunterdrückung des C 520 D so gut, daß ein Hub in der Betriebsspannung im zulässigen Bereich (zwischen etwa 4 und 7 V) kaum einen Nachgleich des Nullpunkts erfordert.

Für den C 520 D werden die folgenden Einsatzempfehlungen gegeben:

- Betriebsspannung mit etwa 47-µF-Elektrolytkondensator und gegebenenfalls noch mit 47-nF-Scheibenkondensator dicht am Schaltkreis gegen Masse sieben.
- Bei der Leitungsführung vermeiden, daß Ströme des Digitalteils über gemeinsame Leiterbahnstükken zu Störspannungen im Analogteil führen.
- Bei brummgefährdeten Einsatzfällen vor H-Eingang Tiefpaßfilter anbringen.
- Für den Integrationskondensator ist eine verlustarme Ausführung mit kleinem Tk zu verwenden, denn C-Änderungen führen zu Linearitätsfehlern.
- Die Abgleichwiderstände sollen Spindeltriebdickschichtausführungen sein, die man zur besseren Einstellgenauigkeit möglichst noch mit Festwiderständen begrenzt.
- Zwischen 8 und 9 sollen etwa 50 kΩ liegen. Zu tiefe Werte erhöhen den Eingangsstrom, zu hohe verschlechtern die Linearität.
- Abgleichpunkte: U_I = 0,5 mV, wobei Anzeige zwischen 000 und 001 schwanken muß, und U_I = 900,5 mV, d. h., Anzeige zwischen 900 und 901 schaltend.
- Widerstände von etwa 10 kΩ sind zwischen Plus und die BCD-Ausgänge zu legen, damit diese open-collector-Stufen für den nachfolgenden Dekoder im gesperrten Zustand einwandfreies H liefern. Bei L sind die Ausgangsströme dieser Ausgänge intern begrenzt, erfordern daher keine Schutzmaßnahmen.
- Da die Multiplexausgänge intern 1-kΩ-Widerstände enthalten, sind sie nicht TTL-kompatibel. Bei 1,6 mA ist mit 4 V an diesen Ausgängen zu rechnen, wenn sie eingeschaltet sind.
- Der C 520 D ist auch für meßwerterfassende Systeme konzipiert, erfordert dann aber Maßnahmen für sichere Datenzwischenspeicherung (Wandlung seriell – parallel). Dazu sind die in den Multiplexsignalen enthaltenen Störnadeln auszufiltern (z. B. mit Verzögerungsgliedern).

3. Taschen-Minimeter mit hohem Eingangswiderstand

Das im folgenden beschriebene Gerät demonstriert die Leistungsfähigkeit des C 520 D bei günstig gewählter Peripherie auch unter sparsamen Speise- und Raumbedingungen.

Das rein passive Multimeter – in seiner Mindestversion ein Spannungs- und Strommesser für Gleichspannungen und -ströme – gehört zum Ausrüstungsstandard. Sein Gebrauchswert hängt vom Drehspulmeßwerk ab. Je besser dieses Meßwerk, um so teurer ist es. Seine Eigenschaften bestimmen den erreichbaren Eingangswiderstand. 20 kΩ/V Stromdämmung sind ein üblicher Wert, also 50 µA Eigenbedarf bei Vollausschlag. Um 100 mV – wenn keine Schutzschaltung diesen Wert erhöht – benötigen solche Instrumente für Vollausschlag bei Strommessungen. Vergleicht man mit diesen Werten die »Anfangsbedingungen« des C 520 D, so ergeben 20 kΩ Abschluß zwischen den Anschlüssen 11 und 10 bei schlechtestenfalls 200 nA (noch dazu temperaturabhängigem) Eingangsstrom bereits 4 mV Grundanzeige. Man könnte sie durch Nullpunktabgleich »beseitigen«, doch wird der Meßwert dann auch von kleinen Quellwiderständen beeinflußt. Extrem gesagt: Legt man die Prüfspitzen an die Enden eines Widerstands im Ohmbereich, an dem real gar keine Spannung liegt, so zeigt das Display jetzt einen negativen Wert von einigen Millivolt an – etwa so viel mit negativer Polarität, wie vorher positiv »ausgeglichen« worden war.

Diese Nullpunktabhängigkeit ist unbefriedigend. Im allgemeinen empfiehlt der Hersteller daher einen vorgeschalteten Meßwandler mit einem (konstanten) R_i von etwa 10 kΩ oder weniger. »Konstant« bedeutet, daß dann der Nullpunktabgleich erhalten bleibt, weil der Wandler – meist ein OPV – Meßobjekt und Eingang des C 520 D voneinander entkoppelt.

Moderne BIFET-OPV bieten genügend Spielraum in Eingangswiderstand und Verstärkung, so daß die meßtechnischen Möglichkeiten des C 520 D – lediglich eingegrenzt durch die nur 3 Digit Anzeigeumfang und die Typenfehler des AD-Wandlers – auf einen großen Teil aller in der Praxis überhaupt vorkommenden Meßaufgaben erweitert werden können.

Gegenüber noch komplexeren Schaltkreisen, wie etwa mehrstelligen Typen im Range eines U 126 D o. ä. (40 Anschlüsse!), hat der C 520 D mit seinen nur 16 Anschlüssen den Vorteil, sich leichter auch in kleinen verfügbaren »Räumen« unterbringen zu lassen. OPV etwa der Art des B 081 D heben jedoch eine günstige Eigenschaft des C 520 D auf. Ein B 081 D benötigt laut Hersteller wenigstens +5 und −5 V Betriebsspannung, um datengerecht zu arbeiten. Eine zweite Spannungsquelle ist also nicht zu umgehen.

Es gibt jedoch viele Interessenten für ein wirkliches Taschen-Digitalvoltmeter. Unter den nun gegebenen günstigen Bauelementevoraussetzungen ist das mit dem C 520 D kein unerreichbares Ziel mehr. Der augenfälligste Nachteil liegt im kleinsten Meßbereich. +999 und −99 mV sind die Meßgrenzen im untersten Bereich. Wenn man jedoch bedenkt, daß der Anzeigefehler bei entsprechend genauen (und konstanten!) Teilerwiderständen bei allen Messungen nicht größer als 1 im letzten Digit sein muß, so ist der C 520 D trotzdem den meisten Zeigerinstrumenten überlegen. Während man mit jenen auf Grund der eventuellen Fehlersumme bei kleinen Ausschlägen möglichst immer im zweiten Ausschlagdrittel arbeiten sollte, sind 99 mV Anzeige beim C 520 D höchstens real 100 oder 98 mV. Selbst bei nur 10%iger Bereichsnutzung beträgt der Meßfehler – vom Gerät her – also nur etwa ±1 %. Das erlaubt es, beispielsweise für Strommessungen mit einem 1-Ω-Meßwiderstand bei maximal 100 mV Eigenbedarf Ströme bis 100 mA zu messen, mit 0,1Ω also noch 1 A bei nur 100 mV Bedarf.

Wesentlich ungünstiger verhält sich, wie bereits erwähnt, der eingangsseitig nicht »modifizierte« C 520 D bezüglich des erlaubten Eingangswiderstands, d. h. letztlich des vom Meßteiler her wirksamen Parallelwiderstands zu den Anschlüssen 11 und 10 (wobei 10 bei Multimeterbetrieb an Masse gelegt wird).

Damit erscheint die direkte Realisierung eines hochohmigen Eingangswiderstands für Multimeterzwecke zunächst ausgeschlossen. Den Ausweg bietet der C 520 D selbst durch sein Meßprinzip.

3.1. Hochohmiger Eingang am C 520 D

Innerhalb eines Meßzyklus, von dem – je nach der vom Schaltkreis selbst erzeugten Taktfrequenz – zwischen 2 und 7 je Sekunde bei langsamer Betriebsart absolviert werden, ist der Meßeingang nur jeweils etwa 1 ms aktiv. Nur mit einem »Tastverhältnis« von rund 1:200 also fließt I_I aus Eingang 11 heraus in

den z. B. durch einen Meßteiler realisierten Abschlußwiderstand. Hat dieser Widerstand z. B. den Wert 1 MΩ, so steht eine Impulsspannung von 100 mV Amplitude und etwa 1 ms Breite mit Intervallen von etwa 200 ms (Durchschnittswert) an diesem Widerstand. Das kann man oszillografisch nachweisen. Ein EO 174 A bietet dabei bereits 1 MΩ Abschluß in Form seines Eingangswiderstands an.

Der Ausweg für das angestrebte Ziel ist nun einfach (Bild 4): Mit C_S wird für I_I eine »Senke« realisiert, die sich im Idealfall innerhalb der Aktivzeit des Eingangs auf weniger als 2 mV, bedingt durch $U_C = i \cdot t/C$, auflädt. Mit i = 100 nA und t = 1 ms erhält man für C dabei 50 nF. Diese Spannung würde sich allerdings nach n Zyklen – Leckströme und die Wirkung des Eingangsteilers zunächst vernachlässigt – auf den n-fachen Wert erhöhen. Zwischen zwei Ladungen ist sie also wieder möglichst auf praktisch 0 abzubauen. Dazu stehen im Durchschnitt 200 ms zur Verfügung. Bei $t \gtrsim 10\,\tau$ kann die Forderung als erfüllt betrachtet werden. Daraus ergibt sich $\tau \lesssim 20$ ms. Bei 50 nF (man wird den Standardwert 47 nF wählen) erfordert das einen Entladewiderstand $R \lesssim 0{,}4$ MΩ. Bei dieser Dimensionierung spielt es keine Rolle, welchen Innenwiderstand das zu messende Objekt hat. Man wird z. B. über einem Widerstand, durch den kein Strom fließt, stets auch wirklich 0 V Anzeige erhalten. Diese Lösung liefert die für Multimeterzwecke bereits recht günstige Stromdämmung von 400 kΩ/V, 20mal mehr als bei üblichen Servicegeräten mit Drehspulmeßwerk. Der Eingangsteiler kann aber auch nach den gleichen Prinzipien ausgelegt werden wie bei jenen, bei denen man für Spannungen über 100 V mit einem Tastkopf arbeitet. Die auf diese Weise gestaltete Lösung nach Bild 5 kommt mit Standardwerten aus bzw. läßt sich leicht aus solchen kombinieren. Selbstverständlich wird man für diesen Meßteiler Typen mit kleinem Tk und hoher zeitlicher Konstanz wählen. 47 nF belasten allerdings für Kapazitäten empfindliche Meßpunkte bereits erheblich, so daß die Nutzung des 1-V-Bereichs an solche Grenzen stößt.

Die Variante nach Bild 6 entkoppelt C_S vom Meßobjekt. Dafür wird die Entladung jetzt von der zu messenden Quelle abhängig. Wählt man jedoch wieder R_{Sges} zu 400 kΩ, so entsteht durch die in Bild 6 vorgeschlagene Aufteilung noch keine sichtbare Anzeigeabweichung von 0 zwischen Kurzschluß und Leerlauf der Meßbuchse. Mit 100 kΩ/V liegt das Gerät immer noch um den Faktor 5 über 20 kΩ/V-Servicemeßgeräten. Allerdings bleibt im untersten Bereich der Shunt von 270 kΩ in Serie zu 47 n parallel zum ohmschen Eingangswiderstand von 100 kΩ.

Die Lösung nach Bild 7 geht einen Schritt weiter. Der Kondensator unterschreitet einerseits bewußt den Wert, von dem an am Ende der 1 ms Meßzeit eine integrierte Meßspannung von > 1 mV angezeigt wird. Der Entladewiderstand andererseits überschreitet im 1-V-Bereich den Wert für völliges Entladen des Kondensators. Es entsteht zwischen den Bereichen ein »Hub« in der Entladung. Beides führt nun zu Nullanzeigefehlern. Jedoch kann man die Auswirkungen auf ein für den angestrebten Zweck noch akzeptables Maß verringern. Dazu wird beim 10-V-Bereich bei offener Meßbuchse, jedoch unter günstigen Umweltbedingungen (geerdete Schirmplatte als Unterlage) am Nullpunktpotentiometer die Fehlerspannung auf Anzeige 000 abgeglichen. Danach schließt man die Eingangsbuchse kurz und überzeugt sich, daß die Anzeige konstant bei 000 bleibt. Jetzt wird auf den 1-V-Bereich umgeschaltet. Je nach Schaltkreisdaten ergibt sich nun eine im Durchschnitt zwischen 001 und 002 liegende Anzeige. Das ist der Anzeigefehler, der als Restabweichung im empfindlichsten Bereich bleibt, je nach R_i des Meßobjekts. Mit 1 bis 2 mV vorgetäuschter Spannung kann er als tragbar gelten – viel wichtiger (und darum durch die Art des Abgleichs berücksichtigt) ist, daß in höheren Bereichen keine dann um den Teilerfaktor höheren Spannungen vorgetäuscht werden. Um dieses relativ günstige Ergebnis bei möglichst hochohmigem Eingangswiderstand des Geräts zu erreichen, wurde gemäß Bild 8 im 1-V-Bereich der sonst konstant zu etwa 10 MΩ festgelegte Eingangswiderstand auf etwa 2,5 MΩ reduziert. Dadurch verringert sich der »Entladehub« vom Verhältnis 12,2 : 2,2 auf 4,7 : 2,2.

Auf diese Weise noch nicht zu kompensieren ist allerdings der Temperatureinfluß auf den Eingangsstrom und damit auf die bei anderen Umgebungstemperaturen auftretenden Nullpunktfehler. Bei häufigem Einsatz außerhalb eines Bereichs von etwa ± 5 K von der Zimmertemperatur empfiehlt es sich daher, durch eine Bohrung im Gehäuse das Nullpunktpotentiometer zugänglich zu machen und in kritischen Meßfällen vorher neu abzugleichen (10-V-Bereich, kein Prüfkabel an der Meßbuchse).

Richtwert des Musters: Das bei 25 °C auf 000 im 10-V-Bereich abgeglichene Gerät liefert in diesem Bereich die Anzeige – 01, wenn es über längere Zeit auf Körpertemperatur gebracht wird, und 001, wenn man bis auf etwa + 10 °C abkühlt. Man kann dieses Verhalten jedoch durch eine weitere Abweichung von den Einsatzempfehlungen zum C 520 D verbessern, nämlich durch ein zweites RC-Glied am Eingang IL mit etwa gleichen Werten R_S, C_S (s. Bild 11).

Eingangsteiler des Mustergeräts
Im realisierten Mustergerät wurden aus Schaltergründen nur 2 Spannungsbereiche untergebracht; über eine dritte Buchse ist ein Strommeßbereich von 999 mA voller Anzeige zugänglich. Er braucht nicht gesondert geschaltet zu werden. Da aber 999 mA mit 999 mV Eigenbedarf verknüpft sind, wird man diesen Bereich meist möglichst nur bis etwa 200 mA ausnutzen. Bild 9 zeigt die Anordnung der Widerstände sowie einen zusammen mit dem Mustergerät benutzten Vorteiler für 99,9 V Maximalanzeige. Er befindet sich auf einer Cevausit-Leiterplatte und wird bei Bedarf an die Meßbuchsen angeklemmt oder angesteckt. Der Kondensator verbessert die Gebrauchseigenschaften in störverseuchter Umgebung. Wegen der Maßnahme im 1-V-Bereich muß jetzt auf 10 V geschaltet werden.

3.2. Anzeigeteil

Mit einer Betriebsspannung um 5 V und etwa 10 mA Eigenstrombedarf benötigt der C 520 D die für einen bipolaren Schaltkreis recht niedrige Leistung von 50 mW. Wesentlich mehr brauchen die üblichen Anzeigeelemente (bisher VQB 71, künftig zunehmend VQE 24) zusammen mit dem Dekoder. Eine erhebliche Einsparung wird zwar der Übergang vom D 147 D auf den Stromquellen-Dekoder D 347 D oder D 348 D bringen, doch engt ein TTL-Dekoder den zulässigen Betriebsspannungsbereich unnötig ein. Während der C 520 D selbst noch etwas unterhalb von 4 V arbeitet und nach oben bis etwa 7 V beansprucht werden darf, liegen die TTL-Grenzen bekanntlich zwischen 4,75 und 5,25 V. Wenn auch kleinere Über- und Unterschreitungen meist ohne negative Konsequenzen sind, so bleibt doch, daß ein Dekoder am besten gar keinen Eigenbedarf haben sollte.

Diesem Wunsch kommt der CMOS-Dekoder U 40511 D entgegen. Er ist außerdem in einem die Grenzen des C 520 D noch in beiden Richtungen überschreitenden Betriebsspannungsbereich verwendbar. Seine H-aktiven Ausgänge erfordern Anzeigeelemente mit gemeinsamer Katode, z. B. VQE 23 oder VQB 37. Von Größe und Strombedarf her ist die VQB 37 für den Einsatz in einem möglichst handlichen Meßgerät als die günstigere Lösung anzusehen. Das führte schließlich beim Mustergerät zu einer Gesamtstromaufnahme von im Durchschnitt nur etwa 18 mA bei 4,5 V Betriebsspannung. Gegenüber der Sonderzeichenausgabe beim D 147 D liefert der U 40511 D als »Minuszeichen« ein großes A und bei negativer Bereichsüberschreitung AAA. Positive Bereichsüberschreitung wird durch 3 kleine B angezeigt: bbb. Beides läßt sich also gut und einprägsam unterscheiden. Für die Multiplexverdrahtung der VQB 37 ergibt sich ein relativ enges Leiterbild, für das eine 2seitige Leiterplatte sinnvoll erschien. Um vom eigentlichen »Meßmodul« her die freie Wahl für den Einsatz unterschiedlicher Anzeigen zu behalten, empfiehlt sich daher ein Anzeigemodul. Er ist über 10 Leitungen mit dem Meßmodul zu verbinden. Das kann in Form eines Bandkabels geschehen. Im Mustergerät konnte auf den Bau eines Anzeigemoduls verzichtet werden, da eine Rechneranzeige VQD 30 zur Verfügung stand. Diese Anzeigen bot der Handel relativ preisgünstig als »ausgelaufene Produktion« an. Die Auswahl der drei in der Mitte liegenden Anzeigen (3 rechts und 3 links davon bleiben frei) geschieht einfach durch Anschluß der Digittransistoren an die gewünschten 3 Katoden. Der Nachteil bereits fertig verdrahteter Multiplexanzeigen liegt darin, daß der Dezimalpunkt nicht ohne weiteren Schaltungsaufwand nur beim gewünschten Digit zum Leuchten gebracht werden kann. Eine Möglichkeit zum »Nachrüsten« unter Ausnutzen des Bereichsschalters zeigt Bild 10 für den Dezimalpunkt im Bereich bis 9,99 V. Bei Einsatz von 3 Stück VQB 37 dagegen läßt sich diese Aufgabe recht einfach lösen, da die Dezimalpunkte einzeln zugänglich bleiben können.

3.3. Gesamtschaltung und Schutzbeschaltung

Bild 11 zeigt die Gesamtschaltung des realisierten Minimeters, das auf Grund der benutzten kleinen Simeto-Schiebeschalter und der 3 Meßbuchsen die Bereiche 9,99 V, 0,999 V und 999 mA aufweist. Das Mustergerät wurde noch mit einer Flachbatterie bestückt und arbeitet bis etwa 3,8 V Betriebsspannung in Übereinstimmung mit in der Literatur vorgestellten Ergebnissen. Allerdings dürfen Flachbatterien industriell nicht mehr benutzt werden – für Neuentwicklungen und auch für Ersatzbestückung ist daher z. B. auf eine Kombination von R6-Elementen zurückzugreifen. Da im Volumen des Minimeters leicht sogar 4 dieser Zellen unterzubringen sind, hat das dann den Vorteil einer größeren Spannungs-

reserve. Man sollte das aber beim Dimensionieren der für die Anzeigesegmente beim U 40511 D weiterhin nötigen Vorwiderstände berücksichtigen. Der andere Grenzfall besteht im Einsatz von 2 Stück 2-V-Taschenlampenakkumulatoren. Sie beginnen bei etwa 2,3 V und bleiben den größten Teil ihrer Entladezeit über dicht bei 2 V. Ihre Kontaktfedern erleichtern gegenüber R6-Elementen die Bestückung. Ihr wichtiger Vorteil besteht in der (begrenzten) Nachladefähigkeit. Das kann im Gerät geschehen, wenn man eine Ladebuchse vorsieht, und läßt sich sogar mit dem Gerät selbst meßtechnisch überwachen.

Bild 11 wurde auf einen solchen »Nennspannungsbereich« von 4 bis 4,5 V hin optimiert.

Bisher noch nicht behandelt wurde ein für den täglichen Umgang wichtiges Schaltungsdetail. Es bezieht sich auf den Überlastungsschutz. Von seiner Konstruktion her (s. Abschnitt »Aufbau«) ist das Minimeter, auch mit einer weiteren Buchse für einen dritten Bereich oder mit 3-Stufen-Schalter, nur für Messungen bis 100 V direkt vorgesehen. Für höhere Spannungen empfiehlt sich der Bau eines entsprechend isolierenden Tastkopfs. Aber selbst in Niederspannungskreisen sind höhere Spannungen nicht auszuschließen, auch wenn es sich vielleicht nur um induktiv bedingte Schaltimpulse handelt. Der Eingang des C 520 D ist intern bis zu ±15 V geschützt. Es gilt also, Anschluß 11 gegen Masse unter allen zu erwartenden Umständen innerhalb dieser Grenzen zu halten. Dazu bietet sich der für die hochohmige Eingangsschaltung eingesetzte Vorwiderstand im Megaohmbereich an. Es hat sich gezeigt, daß die beiden im Muster zur Spannungsbegrenzung hinter diesem Widerstand angeordneten SAY 30 sofort, ohne Auslese, die relativ scharfe Einsatzbedingung erfüllten. Schließlich darf bei maximal 999 mV Meßwert das Einfügen dieser beiden Dioden noch keine Änderung der Meßwertanzeige ergeben. Angesichts der hochohmigen Vorwiderstände darf der Sperrstrom dieser Dioden nur einige Nanoampere betragen. Sofern nicht (versehentlich!) bei zu hohen angelegten Spannungen bereits im Buchsenbereich die enge Anordnung Funkenstreckenwirkung bringt, schützen diese Dioden den Schaltkreis rein rechnerisch bei Spannungen bis weit über 1000 V. Im ungünstigsten Fehlerfall wird allerdings der Vorwiderstand überlastet werden. Und wenn nicht gerade die Leiterplatte dabei verkohlt, ist der Schaltkreis auch dann noch vor Zerstörung sicher. Übrigens wirken beide Dioden sogar bei abgeschalteter Betriebsspannung.

Meßwerte bei ±30 V Eingangsspannung im 1-V-Bereich und Batterie von 4,5 V Nennspannung:

+5,3 V zwischen 11 und Masse bei +30 und −0,56 V bei −30 V; bei abgeschalteter Batterie: +0,95 V bei +30 V.

3.4. Aufbau

Für den aktiven Teil entstand eine Leiterplatte in den Abmessungen 40 mm × 50 mm (Bild 11b und c). Ihre Bestückungshöhe hängt vor allem vom Integrationskondensator ab, den man platzsparend über die Dekoderwiderstände legen kann. Ein ursprünglich vorgesehener Batteriestützkondensator erwies sich infolge des kompakten Aufbaus als unnötig.

Bild 12 zeigt ein Funktionsmuster, für das 2seitig kaschiertes Basismaterial benutzt worden ist. Die bauelementeseitige Folie hat lediglich die Funktion einer großflächigen Masse. Sie ist nicht unbedingt erforderlich. Am Muster befinden sich bereits die Leitungen zur Anzeige.

Für die Verbindungen zum Display Stecklötösen vorzusehen ist ein unnötiger Aufwand, der nur Platzprobleme bringt. Die im Muster aus 10 verschiedenfarbigen 0,3-mm-Schaltdrähten bestehende Verbindungsleitung steckt direkt bauelementeseitig in den Bohrungen neben den Dekoderwiderstandsanschlüssen und wird an deren Lötaugen angelötet. Da schon die Wahl der Betriebsspannung kein Präzisionsgerät gestattet, wurde sowohl bei den Bereichswiderständen wie bei den Stellpotentiometern auf Präzisionsausführungen verzichtet. Das Nullpunktpotentiometer erhielt allerdings Begrenzungswiderstände. Ihr Werteverhältnis zum einstellbaren Teil, also die Genauigkeit der Einstellung beim Betätigen, kann am Exemplar optimiert werden.

Für das Mustergerät stand eine VQD 30 zur Verfügung, von der kurz vorher größere Mengen im Amateurbedarfshandel sehr preisgünstig angeboten worden waren. Eine solche Anzeige dürfte sich noch bei vielen Interessenten finden. Andernfalls benutzt man die in Bild 13 vorgestellte 2seitige Anzeigeleiterplatte für VQB 37. Das bringt übrigens den Vorteil des nicht in den Multiplex einbezogenen Dezimalpunkts. In solchem Fall bietet es sich an, die Wertausgabe durch einen mitleuchtenden Dezimalpunkt eindeutig zu gestalten. Mehr dazu in Abschnitt 3.5. Als zunächst bequemste, wenn auch in großem Rahmen nur noch für die Ersatzbestückung zugelassene Spannungsquelle wurde eine 3 R 12 benutzt. Der Übergang auf 2 Stück 0,5-Ah- oder auf 3 Stück 0,25-Ah-Akkumulatoren bringt sogar noch Platzvorteile. Allerdings legt der Einsatz des letztgenannten Typs dann eine andere Gehäusegestaltung nahe.

Die zweckmäßige Anordnung von 2 × 0,5 Ah ergibt sich aus Bild 14, das außerdem einen Blick in das Gehäuse bei herausgenommener Leiterplatte gewährt. Man erkennt die mit 3 Meßgeräteklemmbuchsen versehene Stirnplatte. Sie besteht, wie die ihr gegenüberliegende Platte, aus 1seitig, das übrige Gehäuse aber im Muster aus 2seitig kaschiertem Glasfaser-Epoxidharz-Halbzeug, wie es im Amateurbedarfshandel erhältlich ist. Es läßt sich sogar schon mit einer stabilen Fotohebelschere schneiden. Das Gehäuse läßt sich dadurch bequem zusammenlöten.

Der Raum für die Leiterplatte wurde isolierend ausgekleidet. Die Stirnplatte und die ihr gegenüberliegende Platte mit nach innen gedrehter Folienfläche enthalten einfache »Leiterbilder«. Sie lassen sich durch Ritzen und Abschälen gewinnen. Dadurch erhält man an der Buchsenplatte die Möglichkeit, die 3 Bereichswiderstände unterzubringen, während die andere Platte im Mustergerät für die selbstfedernden Kontakte der 3R12-Batterie strukturiert worden ist. Die Minusleitung ist mit der Gehäuse-Innenfolie identisch, die Plusleitung wird längs der Unterkante zum Schalter geführt. Den oberen Abschluß der Batteriekammer bildet ein schmaleres Halbzeugstück. Darüber befinden sich die beiden Simeto-Schiebeschalter für die Bereichswahl und für die Batterie. Sie sollten ursprünglich an der Batteriekammer-Begrenzungsplatte angelötet werden. Das bringt jedoch Probleme wegen der Buchsen, wenn die Leiterplatte einmal herausgenommen werden soll. Sofern man nicht das Gehäuse aus gelötetem Rahmen und oben und unten (z. B. über Gewindebolzen) angeschraubter Deck- und Bodenplatte zusammensetzt, ist die gewählte Anordnung daher günstiger. Das gesamte Gerät war anfangs als reines Testobjekt gedacht, so daß minimaler konstruktiv-technologischer Aufwand gerechtfertigt schien. Es hat sich jedoch in der täglichen Praxis auf Grund seiner »Handlichkeit« so gut bewährt, daß der Autor den Aufbau als Dauerzustand akzeptiert. Die beiden Schalter sind in dieser Lösung gemeinsam herauszunehmen, denn ihre auf Grund der Gehäusebreite überlappten Befestigungslaschen wurden zusammengelötet. Vorher sollte man die untenliegende Lasche z-förmig abwinkeln, damit eine glatte Gesamtfläche entsteht (Details s. Bild 15). Die außenliegenden Laschen werden in Gehäuseaußenbreite nach oben abgewinkelt und bei 1,5 mm Höhe abgeschnitten und entgratet. Sowohl die Seitenwände wie auch die Deckplatte erhalten entsprechende Aussparungen. Das Schalterpaar gleitet nun beim Einsetzen in die Wandaussparungen, wird dadurch in seiner Lage fixiert und arretiert anschließend auch die Deckplatte. Für diese genügt dann ein Minimum an weiterer Befestigung – im Versuchsmuster über Eck mit eingelöteten Rastungen.

Bild 15 vermittelt einen Eindruck von der Schalteranordnung. Die Hauptabmessungen des Geräts (Richtwerte und von der Batteriewahl bedingt!) gibt Bild 16 wieder.

Bild 17 schließlich zeigt eine Ansicht des demontierten Musters. Neben den Schlitzen für die beiden Schalter enthält die Deckplatte nur die aus optischen Gründen auf die Gesamtbreite der VQD 30 gezogene schmale Öffnung für die Anzeige. Sie trägt von innen einen Streifen roter Bastelfolie, was die Erkennbarkeit besonders bei der ungefärbten VQD 30 stark verbessert. Aber auch bei der VQB 37 ist sie nützlich, da in der gewölbten Plastverkleidung sonst störende Reflexionen des Umgebungslichts auftreten.

Ohne Buchsen hat das Muster die typischen »Brusttaschenabmessungen« von 110 mm × 66 mm × 26 mm (Länge × Breite × Dicke). Mit Batterie hat es eine Masse von etwa 230 g.

Für die Außengestaltung empfiehlt sich entweder »typofix«-Beschriftung oder ein von einer solchen Vorlage gewonnenes Positiv oder Negativ (je nach Kopierlack) zur fotomechanischen Bearbeitung. Die Deckplatte sollte aus Schirmgründen die Beschriftung als herausgeätzte Partien enthalten. Bei einer doppelseitig kaschierten Deckplatte kann man das Verfahren dagegen auf folgende Weise stark vereinfachen: ätzfestes Abdecken der Rückseite mit Lack oder geeigneter Klebefolie, Abreiben der Beschriftung mit »typofix«-Buchstaben und -Ziffern auf die gesäuberte Oberseite, Ätzen und anschließendes Schutzlackieren. Jetzt trägt die Deckplatte die Beschriftung in Kupfer, während die Unterseitenfolie – bei Notwendigkeit über ein Litzenstück mit der Gerätemasse verbunden – als Schirm erhalten bleibt. Wegen des hochohmigen Eingangs dieses Geräts ist das durchaus zu empfehlen. Ein abschließender Gebrauchshinweis in diesem Zusammenhang: Bei Strommessungen über die I-Buchse gegen Masse kann zwar der Bereichsschalter im Prinzip beliebig stehen, doch gerade bei dieser Variante mit 10-MΩ-Eingangswiderstand empfiehlt es sich, auf »10 V« zu schalten, um Nullpunktprobleme zu umgehen (außerdem ist es schon wegen der Shuntbeschaltung bei 1 V nötig). Der Eingang ist dann mit 1 MΩ abgeschlossen, zwischen 11 und 10 des C 520 D wirken also 2 MΩ.

Übrigens darf der niedrige Widerstand von nur 1Ω zwischen Masse- und Strombuchse nicht dazu führen, in irgendwelchen Meßaufbauten beide als »Quasi-Masse« zu benutzen. Je nach den übrigen Schaltungsverhältnissen kann es über diesem Widerstand bei entsprechenden Masseströmen zu Spannungen kommen, die die über die Spannungsbuchse gerade durchgeführte Messung völlig verfälschen!

3.5. Dezimalpunktfragen

Es wäre selbstverständlich auch bei nur 2 Spannungsbereichen günstiger, wenn im »10-V«-Bereich die Anzeige z. B. als 4,56 V und nicht einfach als »456« ausgegeben würde. Beim »1-V«-Bereich wäre ein vor den Ziffern stehender Dezimalpunkt günstig, wenn das auch bei der ohnehin nur ausnahmsweise genutzten Anzeige kleiner negativer Spannungen dann zu einer Ausgabe von z. B. »A87« führte, was als »– 87 mV« zu interpretieren wäre. (Der CMOS-Dekoder gibt ja Minus des C 520 D als großes A aus und negative Bereichsüberschreitung als AAA, während er positive Bereichsüberschreitung als »bbb« anzeigt.) Ein vor dem Meßwert stehendes Minuszeichen ist nur im VQD 30- (bzw. VQD 32-) Display möglich, während es bei der VQB 37 durch eine zusätzliche VQA 15 zu realisieren wäre. Dafür ließe es sich – wie auch die einzeln herausführbaren Dezimalpunkte der 3 einzelnen VQB 37 – leicht von außen ansteuern. Bei der Multiplexanzeige mit einem ebenfalls bereits für Multiplexbetrieb verdrahteten Komma neben jeder der Stellen (z. B. bei VQD 30) müßte die Kommaansteuerung mit der Digitsteuerung gekoppelt werden. Das bringt Zusatzaufwand, der nicht mehr im Grundbaustein unterzubringen ist. Kommaumschaltung bedeutet außerdem mehr Schalteraufwand.

Für die Grundausführung des Taschen-Minimeters ist daher in der Auslegung mit VQD 30 zunächst auf die Kommaausgabe verzichtet worden. Bild 18a zeigt, wie man bei Einsatz von VQB 37 zumindest für den 10-V-Bereich (was ja meist genügen dürfte) ein Komma schalten kann. Das läßt sich durch doppeltes Ausnutzen der Schalterseite für die beschriebene Eingangswiderstandsbegrenzung aus Nullpunktgründen recht einfach erreichen. Bei »10 V« ist der Schalter geöffnet. Da es sich um die sonst ja noch nicht benutzte Seite des Simeto-Schalters für die Bereichswahl handelt, kann auf den freien Kontakt die Verbindung zu einem pnp-Ansteuertransistor für den Dezimalpunkt der »MSD«-VQB 37 gelegt werden. Dieser Transistor und seine beiden Widerstände lassen sich leicht auf der im Leiterbild entsprechend erweiterten Display-Leiterplatte unterbringen. Platz ist dort dafür noch vorhanden. Der optimale Wert von R_E ist am besten zu erproben. Er hängt u. a. von Batteriespannung und Anzeigeexemplar ab. Man bedenke, daß dieser Punkt zwangsläufig durch die Digitsteuerung ebenfalls vom Multiplextakt gesteuert wird. Er erhält immer dann Strom, wenn der MSD-Transistor leitet.

Mit einem zweiten zusätzlichen Transistor kann auch eine VQD 30 gesteuert werden. Die insgesamt 6 neuen Bauelemente in der Schaltung nach Bild 18b arbeiten wieder wie im Vorschlag entsprechend Bild 18a mit der freien Schalterseite des Bereichsschalters zusammen. So wird beim Bereich »9,99 V« ein Dezimalpunkt im MSD ausgegeben. 999 mV bleiben ohne Zusatzkennung. Nachteilig ist diese Lösung bei Anstecken des »99,9-V«-Teilers. Da er – bedingt durch die Gesamtschaltung des »Minimeters« – im 9,99-V-Bereich betrieben wird, kann diese Anzeige verwirren. Man versehe daher den Vorteiler nicht mit dem Spannungswert, sondern beschrifte ihn mit »×10«. Dann stimmt die Anzeige wieder.

In der Meßpraxis besonders nichtelektronischer Berufe, wie (derzeit noch) der Kfz-Elektrik u. ä., wird ein 1-V-Bereich nicht benötigt. Ein für die Bereiche 10 V (also bisherige »Trabant«-Anlagen) und 100 V (alle 12-V-Systeme) ausgelegtes Minimeter hat nun einen völlig frei verfügbaren Umschalterteil, so daß man nach Bild 18c verfahren kann. Der Eingangsteiler wird z. B. so gestaltet, daß der oberste Schaltkontakt entfällt und damit auch der sonst sinnvolle R_E-Schaltkompromiß.

4. Vielseitiger Anzeigemodul

Während das in Abschnitt 3. vorgestellte Minimeter rein von der optimalen Lösung her entwickelt worden ist, gelten für diesen Modul etwas andere Betrachtungen. Selbstverständlich kann man die Leiterplatte des Minimeters auch in Verbindung mit einer Anzeigeplatte benutzen, die mit modernen Lichtschachtanzeigen bestückt ist. Wegen des benutzten Dekodertyps braucht man dafür solche mit gemeinsamer Katode. Die eingangs genannte Broschüre wird solche Lösungen enthalten.

Für einen im Mai 1984 erscheinenden Bauplan ergeben sich aus der Sicht der Bauelementesituation von Mai 1983 dagegen etwas andere Voraussetzungen. Reichlich vorhanden waren im Amateurbedarfshandel vielerorts die altbewährten VQB 71. Die Industrie ist längst auf die VQE-Reihe umgestiegen, so daß nun der Amateur an diese Vorläufertypen leichter herankommt als früher. Ähnliches zeichnete sich zumindest beim ebenfalls schon »bejahrten« 7-Segment-Dekoder D 147 D ab, der ja gegenwärtig durch die im wesentlichen anschlußkompatible Reihe der Stromquellendekoder D 345 D bis D 348 D abgelöst wird, solange es um Anzeigen mit gemeinsamer Anode geht. Für gemeinsame Katoden kann gemäß der im Minimeter benutzten Schaltung dagegen der CMOS-Dekoder U 40511 D benutzt werden.

Zu den beiden Teilen der Anzeige mit 3mal VQB 71 und (wegen des Multiplexbetriebs günstigerweise nur 1mal) D 147 D noch einige notwendige Hinweise:

- Die VQB 71 hat für jedes Segment 2 in Serie geschaltete Leuchtdioden; unter anderem das hat sie in der Herstellung nicht gerade billig gemacht.
- Die beiden Leuchtdioden erfordern zusammen etwa 3,4 V Flußspannung. Bei 5-V-Versorgungen (wenn alle anderen Schaltungsteile mit aus dieser Spannung gespeist werden sollen) läßt das wenig Spielraum für die Vorwiderstände. Man betreibt daher bisweilen die Anzeigen aus einer höheren Spannung, so daß z. B. temperaturbedingte Flußspannungsänderungen keinen zu hohen Helligkeitshub durch starke Stromänderungen ergeben. Das wird jedoch problematisch bezüglich der Multiplexausgänge des C 520 D, die dann mit dieser höheren Spannung belegt werden (über die Basis-Emitter-Strecken der Schalttransistoren).
- Der D 147 D ist »L-aktiv«. Eingeschaltete Ausgänge ziehen also die einzelnen Katoden der 7-Segment-Anzeige nach Masse. Zwischen den Katoden und diesen Ausgängen liegen die Strombegrenzungswiderstände. Sie werden erst bei der Typenfamilie D 345 D bis D 348 D überflüssig.
- Die Anschlüsse Helligkeitssteuerung, Nullenunterdrückung und Lampentest sind in der vorliegenden Schaltung nicht beteiligt. »Ganz sauber« müßte man sie an H (plus 5 V) legen. Auf der Leiterseite des Moduls blieben sie unbeschaltet, was bei nicht allzu starkem Störpegel der Umgebung genügt, damit der Schaltkreis sie als »hoch« akzeptiert.
- Der D 147 D benötigt 5 V Betriebsspannung mit den TTL-üblichen Grenzen von 4,75 bis 5,25 V. Geringfügige Über- und Unterschreitung führen noch nicht zu Zerstörung oder Funktionsausfall, vor allem, wenn die maximal zulässigen Ausgangsströme nicht ausgenutzt werden.
- Der D 147 D hat eine nicht gerade zu vernachlässigende Stromaufnahme von 50 bis 90 mA, exemplar- und spannungsabhängig.
- Die 3 Anzeigen sollten mit Segmentströmen von je etwa 10 mA betrieben werden. Das ergibt unter normalen Arbeitsplatzbedingungen gute Erkennbarkeit. Maximal fließen also 70 mA. Daß es dabei bleibt, das bewirkt die Multiplexsteuerung des C 520 D, denn es ist in Wirklichkeit – jedoch in raschem Wechsel – immer nur eine der 3 katodenseitig parallelgeschalteten Einheiten eingeschaltet. 10 mA je Segment sind dennoch ausreichend, weil solche Lichtpulse vom trägen Auge länger wahrgenommen werden, als sie tatsächlich dauern.
- Obgleich in den Applikationsschaltungen des Herstellers nicht vorgesehen, sollte man auf folgenden Effekt gefaßt sein, der sich im Muster an einem Digit zeigte: Dort leuchteten auch die gerade nicht angesteuerten Segmente mit, so daß man (übertrieben gesagt) stets den Eindruck einer »8« hatte. Ein Widerstand vom Ausgang dieses Digits nach Plus von etwa 10 kΩ behob diesen Effekt. Er konnte sogar noch bauelementeseitig eingelötet werden. Die Leiterplatte erhielt daher von vornherein Lötaugen für diese Widerstände.

4.1. Schaltung und Leiterplatte

50 mm × 80 mm erschienen für diesen Modul angemessen, da er, im Unterschied zur Minimeter-Lösung, auch die Anzeigen trägt. Außerdem fand sich auf der Leiterplatte noch Platz für die Anzeige von Zusatzinformationen, auf die beim Beispielgerät noch kurz eingegangen werden soll.

Die Schaltung nach Bild 19a enthält keine Besonderheiten, wenn man die vorangegangenen Informationen gelesen hat. Sie ist damit ein Beispiel für den bei erster Verfügbarkeit des C 520 D auch für die Industrie gegebenen Bauelementestandard. Die Leiterplatte nach Bild 19b trägt daher auch noch keine speziellen Maßnahmen, wie sie schon weiter vorn zwecks Erhöhung des Eingangswiderstands der Meßschaltung behandelt worden sind. Sie einzufügen (bei Bedarf sogar leiterseitig) fällt leicht, wird aber meist auf der Ansteuerseite vom »Aufnehmermodul« berücksichtigt werden können.

Im Interesse des üblichen Bauplan-Leiterplattenformats und wegen der für kleine Leiterplatten nicht gerade vorteilhaften VQB 71 wurden einige nicht immer ganz geradlinige und teilweise isolierte Drahtbrücken nötig. Der im Handel erhältliche relativ dünne PVC-isolierte Leitungsdraht erleichtert das. Außerdem wurde für die Gesamtverdrahtung auch die Leiterseite als Ausgangspunkt benutzt. Um die »Sichtseite« (Bauelementeseite) dicht genug an das Gerätefenster heranzubringen, fand der Integrationskondensator (0,33 µF MKL) ebenfalls auf der Leiterseite Platz.

4.2. Stromversorgung

Die Notwendigkeit einer relativ stabilen Betriebsspannung (beim Minimeter war das weniger kritisch) bei noch dazu nicht gerade sehr niedriger Stromaufnahme – etwa 6mal so hoch wie beim Minimeter – zwang zu Zusatzaufwand. Als sicherlich vorwiegend stationär genutzte Einrichtung (das Minimeter als Mobilvariante bildet die Alternative) liegt Netzbetrieb nahe. Nun hat allerdings der C 520 D, schaltungsbedingt, keine besonders gute Netzbrummunterdrückung. Das heißt, wenn er mit einer nicht ausreichend »glatten« Spannung betrieben wird, liefert die Anzeige ein Abbild der zufällig innerhalb der nur für Millisekunden getätigten Abfrage des Meßpunkts gegebenen Spannungsverhältnisse am Komparator. In diesem Fall hilft neben Freihalten der Eingangsleitung von Störeinstreuungen (Leitungsführung schirmen, saubere Masseverhältnisse im Meß- und Versorgungskreis) wirksam ein stabilisiertes Netzteil oder eben Batteriebetrieb.

Ein für den vorliegenden Zweck beinahe »maßgeschneidertes« findet man bereits in den Bausteinen aus Bauplan 42 (!). Es handelt sich um den dort mit Bild 39 und Bild 40 dokumentierten Festspannungsregler mit R bzw. A 210 D (jetzt E, also Kühlflügel mit Löchern zum leichteren Vergrößern der Flächen). Im wesentlichen sei dazu Bauplan 42 zitiert: Wenn die zulässige maximale Eingangsspannung auf die von der Schaltkreiskühlung bedingte zulässige Verlustleistung bezogen wird, kann dieser Baustein nach Bild 20 bei 5 V Ausgangsspannung durchaus bis zu 0,5 A belastet werden.

In Grenzfällen empfiehlt sich »Abfangen« eines Teils der Leistung mit 1 bzw. mit 2 Stück 1-A-Dioden (SY 320 oder SY 360). Dabei läßt sich gleichzeitig der positive Effekt einer besseren Durchsteuerung des oberen Endstufentransistors im Schaltkreis erreichen. Dazu liegt der Bootstrap-Anschluß an der gesamten Eingangsspannung, während der Leistungstransistor im Schaltkreis mit etwa 1,5 V weniger belastet wird. Die Eingangsspannung muß noch ausreichend über der Z-Spannung der Referenzdiode liegen, andernfalls ergibt sich bei plötzlichem Leerlauf eine Art »Latch up«, wobei die Ausgangsspannung unter den Wert der Spannung bei Last sinkt. Neue Belastung hebt den Effekt wieder auf.

Mit Bild 20a und nur 1 × SY 360 ergaben sich folgende typische Daten: Eingangsspannungsbereich für 0,5 A 6,7 bis 8,5 V, dabei Ausgangsspannung zwischen 4,8 und 5 V bei 0,5 A Last, 5,07 bis 5,11 V bei Leerlauf; Schaltkreisspannungsabfall über Leistungstransistor 1,14 bis 2,6 V, d. h. maximal 1,3 W. Verringern des Ausgangsstroms oder Einsatz eines Kühlkörpertyps (R oder A 210 K) erhöht die zulässige maximale Eingangsspannung beträchtlich. Bei diesen Bedingungen läßt sich die Schaltung auch bis zu 1 A belasten. Die Ausgangsspannung kann am Potentiometer nur zwischen etwa 4 und 10 kΩ Widerstandswert vernünftig eingestellt werden. Mit dem äußeren Gegenkopplungswiderstand (eingetragener Wert zwischen 12 und 6:10 kΩ) kann durch Variieren bis auf etwa 20 kΩ ebenfalls die Ausgangsspannung noch etwas korrigiert werden. Der »Latch-up«-Effekt bei Lastabschalten verringert sich bezüglich des kritischen Spannungsbereichs, wenn zwischen 12 und 6 mit Plus nach 16 ein Elektrolytkondensator 1 µF/40 V eingefügt wird. Bild 20b zeigt zu dieser auch weiterhin recht interessanten Schaltung ein Leiterbild. Bestückt wird nach Bild 20c. Bei Einsatz eines »D«-Typs (Kühlflügel ohne Bohrungen) kann die zulässige Verlustleistung über 1,3 W auf folgende Weise erhöht werden: 2seitig kupferkaschiertes Hartpapier benutzen, auf der Bauelementeseite alle Anschlüsse freisenken, auf die Fläche unter den Kühlflügeln vor Einsetzen des Schaltkreises 2 Messing- oder Kupferblättchen, etwa 2 mm dick, löten, etwas Silikonfett aufbringen und Schaltkreisflügel formschlüssig unter leichtem Druck aufsetzen; in dieser Lage Schaltkreis leiterseitig einlöten. Besser ist jedoch das Anschrauben von gewinkelten Aluminium-, Kupfer- oder Messingblechen (1 mm dick) an die mit Löchern versehenen Kühlflügel der E-Ausführung oder, wenn entsprechendes Bauvolumen vorhanden, der Einsatz eines A 210 K. In der beschriebenen Form war der Baustein für das Stabilisieren von 5 V aus einer bereits gegebenen Eingangsgleichspannung gedacht. Unser Modul läßt sich aber aus einem 6-V-0,5-A-Klingeltransformator betreiben. Dazu braucht man lediglich noch eine SY 360 o. ä. und 2200 µF. Sofern Leerlauf vermieden wird, genügt dafür ein preisgünstiger 10-V-Typ, oder man legt 2 × 1000 µF parallel. Für den benötigten Strom reicht Einweggleichrichtung völlig aus. Das erleichtert auch die im noch zu beschreibenden Beispielgerät erforderliche Bereitstellung einer negativen Spannung für die OPV.

4.3. Linearer Ohmmetermodul

Bereits in Bauplan 52 sind lineare Ohmmeterschaltungen, entwickelt für analoge Anzeige, enthalten. Auch der im folgenden vorgestellte Modul entstand ursprünglich für einen solchen Zweck, paßte aber nicht mehr in jenen Bauplan. Inzwischen ist er noch etwas verbessert worden und läßt sich nun sowohl für Zeigerinstrumente wie – mit einer einfachen Potentialverschiebeschaltung – auch für Digitalvoltmeter benutzen. Da sein schon auf der Leiterplatte enthaltener Meßteiler sich dafür eignet, entstand mit ihm zusammen schließlich das Gerät nach Abschnitt 4.4. Doch zunächst zum Modul. Er enthält einen modernen BIFET-OPV vom Typ B 081 D. Solche OPV kommen, wenn sie im vorgesehenen Betriebsspannungsbereich bleiben, dem Ideal des OPV bezüglich (fast) keiner Eingangsströme recht nahe, mindestens für den vorliegenden Zweck.

Die Schaltung nach Bild 21a geht vom Prinzip der Verstärkungseinstellung durch Gegenkopplung aus und benutzt den unbekannten Widerstand als R2. Bei nur gelegentlichem bzw. kurzzeitigem Einsatz (Hauptanwendung: Kontrolle jedes Widerstands vor dem Einbau – das spart später langwierige Fehlersuche!) kann dieses Ohmmeter aus einer externen Quelle von wenigstens 2 × 5 V gespeist werden. Die Mindestspannung wird durch den OPV-Typ bestimmt. Angesichts der günstigen Preise für OPV ist auch ein solcher »Einzweck«-Aufbau gerechtfertigt. Man kann ihn sowohl an ein Meßwerk (z. B. 50-µA-Instrument) wie an einen Vielfachmesser z. B. nach Bauplan 52 mit entsprechendem Vorwiderstand als auch an ein Digitalvoltmeter anschließen. In diesem Fall wird ein Meßwiderstand statt des Instruments mit Vorwiderstand eingeschleift. Von einer Z-Diode zur Vorstabilisierung wird eine Leuchtdiode gespeist, die als (Referenz-) Steuerspannungsquelle wirkt. Der Strom durch sie ist dadurch von der Betriebsspannung weitgehend unabhängig. Sofern die Einrichtung im Zimmertemperaturbereich arbeitet, ändert sich damit diese Bezugsspannung kaum. Der Strom durch diese Quelle muß jedoch gegenüber dem vom Meßwerk kommenden groß genug sein, damit dieser zusätzliche vom Meßobjekt bestimmte Strom nicht die Referenzspannung der Leuchtdiode erhöht. Diese Spannung liegt nun am nichtinvertierenden Eingang des OPV. Sie wird von ihm gemäß $U_A = U_E (\frac{R_X}{R_M} + 1)$ verstärkt. Für $R_X = R_M$ gilt $U_A = 2U_E$.

Das Meßwerk (oder der Meßwiderstand eines bezüglich Stromversorgung von dieser Einrichtung unabhängigen AD-Wandlers eines Digitalvoltmeters) erhält damit für $R_X = 0$ keine und für $R_X = R_M$ eine Spannung, deren Wert der steuernden Referenzspannung entspricht. Das ist der Fall, weil der nichtinvertierende Eingang für den Anzeigekreis als Bezugspunkt gewählt wurde. Steht z. B. ein 50-µA-Meßwerk zur Verfügung und ist $U_{ref} = 1{,}8$ V, so hat der gesamte Meßkreis ($R_i + R_V$) den Widerstandswert 36 kΩ. Je größer das Verhältnis von R_V zu R_i, um so weniger gehen Änderungen des Instrumenten-Kupferwiderstands in die Messung ein. Es kommt im übrigen nicht auf die absolute Höhe der Referenzspannung an. Mit R_V kann das ausgeglichen werden. Der Anzeigekreis muß aber von Anfang an »stabil« sein. Das heißt: Wird kein eigenes Meßwerk dafür gebunden, muß der Vielfachmesser, an den angeschlossen werden soll, feststehen. Auf sein 50-µA-Meßwerk (oder auch 100 µA) ist also R_V anzupassen. Dem Vollausschlag-Abgleich über R_V hat der Nullpunktabgleich der Offsetspannung vorauszugehen. Dazu schließt man die R_X-Klemmen kurz. Das Meßprinzip hat einen Nachteil: Bei offenem R_X geht V gegen ideal unendlich, praktisch aber wenigstens auf Werte über 10^4. Der Ausgang liefert damit je nach OPV-Typ nahezu die Batteriespannung mit einem niedrigen Innenwiderstand.

Bei 9 V wird das Instrument wenigstens etwa mit dem Vierfachen seines Vollausschlagswerts überlastet. Das spielt keine Rolle, wenn wieder von der bereits in Bauplan 52 empfohlenen Schutzschaltung im Vielfachmesser Gebrauch gemacht wird. Auch bei eigenem Meßwerk für das Ohmmeter ist es nicht schwer, diese Maßnahme durch Aufteilen von R_V und Diodeneinbau vorzusehen. Der »Abschluß« des invertierenden Eingangs mit Widerständen bis in den Megaohmbereich (Meßschalter mit R_M-Sprüngen von 10:1 ist sinnvoll für eine gut ablesbare Skale, Grundwert je nach Skalenteilung: z. B. 5 MΩ bei Fünferteilung) bringt bei bipolaren OPV das Problem der noch dazu stark temperaturabhängigen Eingangsströme. Beide Eingänge bezüglich ihrer Auswirkung zu symmetrieren, ist bei dem gewählten Prinzip auch nicht möglich. Bei OPV mit FET-Eingang, z. B. beim B 081 D, liegen diese störenden Ströme dagegen so niedrig, daß sie die Messung nicht mehr beeinflussen. Der Einfluß der Offsetspannung ist ebenfalls gering, da die (gegengekoppelte) Verstärkung mit R_X von 0 bis R_M nur zwischen 1 und 2 liegt. Die temperaturabhängige Nullpunktverschiebung durch Offseteinflüsse muß man vor der Messung kontrollieren und mit dem Nullpunktpotentiometer beheben. Aus U_{Ref}/I_{max} errechnet sich der kleinste Meßbereichs-

widerstand, unterhalb dessen die Anzeige nicht mehr linear ist. Das ergibt sich daraus, daß dann der OPV in den Gegenkopplungszweig mehr Strom liefern muß, als von seinen Daten her ohne zusätzliche Fehler in der Anzeige (verminderte Verstärkung, schließlich Sättigung!) möglich ist. Insofern stößt man mit dem BIFET-OPV bald an eine untere Grenze, während er sie gerade nach oben hin zu erweitern gestattete. Rechnet man z. B. mit 5 mA für I_{Amax}, so können etwas mehr als 330 Ω als unterster Gesamtwiderstandswert angesetzt werden. Sinnvollerweise wird man also bei einem Instrument mit Fünferteilung als kleinsten Meßbereichswiderstand 500 Ω wählen und erhält $R_X = 500\ \Omega$ als Vollausschlagswert. Praktisch können infolge der linearen Teilung dann noch Widerstände bis etwa 10 Ω herab erkannt werden. Die Standardwerte 47 und 68 Ω z. B. sind damit bereits gut zu unterscheiden.

Man kann aber für niederohmige Widerstände einen OPV mit größerem Ausgangsstrom benutzen oder den Ausgang durch eine Transistorgegentaktstufe erweitern. Beide Lösungen haben den Nachteil, daß sie die Quelle stark belasten (Größenordnung 50 mA). Für die Ohmmeterschaltung nach Bild 21a entstand eine Leiterplatte gemäß Bild 21b, die nach Bild 21c zu bestücken ist. Die Lösung kommt auf Grund der extrem hochohmigen Eingänge ohne Schalter aus, wenn R_X in der in Bild 21a dargestellten Weise an Abgriffe von R_M geschaltet wird, z. B. über Prüfschnüre. Für »Serienmessungen« ist dagegen ein Umschalter sinnvoller. In diesem Fall lassen sich die Einzelwiderstände besser bezüglich U_{Ref} abgleichen. Schnelles Arbeiten bei Serienmessungen ist dann möglich, wenn R_X z. B. an umgekehrt montierte Bürstenstecker angeschlossen wird. Die Leiterplatte gestattet, wie auch der Stromlaufplan erkennen läßt, optimale Auslegung sowohl für Skalen, die Zehnerteilung aufweisen (und damit auch Anschluß an ein Digitalvoltmeter), wie auch für solche mit Fünferteilung. Beide Male kommt man mit Standardwerten aus, die allerdings genau ausgemessen sein sollten. Notfalls schaltet man z. B. einem 1-MΩ-Widerstand 10 MΩ parallel, um 910 kΩ besser zu erreichen.

Für den ständig gemeinsamen Einsatz dieses Moduls zusammen mit einem Digitalvoltmeter möchte man in der Stromversorgung keine größeren Probleme haben. Der Modul kann ebenfalls aus dem für den Anzeigebaustein benutzten 6-V-/0,5-A-Klingeltransformator gespeist werden. Allerdings liegt dann der masseseitige Eingang des C 520 D auch wirklich an Masse, während der Ohmmeterausgang auch bei 0 Ω noch etwa 1,8 V führt. Den Ausweg bringt ein »Billig«-OPV, z. B. ein B 761 D. Bild 22 zeigt eine geeignete Potentialverschiebeschaltung. Die Referenzspannung des Ohmmeters wird in einer einfachen Inverterschaltung umgedreht, so daß sie nochmals als – 1,8 V zur Verfügung steht. Mit ihr und mit der (positiven) Ausgangsspannung des Ohmmeters wird ein Spannungsteiler gespeist. An seinem Mittelpunkt liegen also bei $R_X = 0\ \Omega$ 0 V und bei $R_X = R_M$ 1,8 V (genauer: U_{ref}). Mit einem Potentiometer wird diese Spannung (bei genauer $R_X = 0{,}999\ R_M$ wegen des Anzeigebereichs) auf eine Maximalanzeige von 999 mV gebracht, was dann bei $R_M = 1\ k\Omega$ der Anzeige $R_X = 999\ \Omega$ entspricht. Diese Einstellung ist bei jedem beliebigen, aber genau bekannten $R_X < R_M$ möglich. Der Abgleich wird um so genauer, je näher R_X R_M kommt. Vorher muß der Nullpunkt des Ohmmeters kontrolliert und gegebenenfalls nachgestellt werden (Mikrotaster des Moduls drücken, am Nullpunktpotentiometer einstellen).

Für DVM-Einsatz wird also nicht das für Analoginstrumente vorgesehene Potentiometer am Ausgang des OPV benutzt. Man kann es sogar weglassen. Dafür faßt man die Anpaßschaltung und eine jetzt zweckmäßige Bereichsumschaltung auf der im folgenden beschriebenen Bereichsleiterplatte zusammen.

4.4. Bereichswahl und der Weg zum stationären Volt- und Ohmmeter

Eigentlich war für den vorliegenden Bauplan dieses Objekt gar nicht vorgesehen. Es entstand mehr als Testgerät für die Funktionsfähigkeit des Anzeigemoduls und des Ohmmeters. Da jedoch auf dem Ohmmetermodul bereits eine – so gut es unter Amateurbedingungen möglich war – abgeglichene Meßwiderstandskette zur Verfügung stand und da sich zufällig noch ein nur wenig breiterer 5-Tasten-Schalter fand, wuchsen die Leiterplatten gewissermaßen zum Gerät zusammen. Es hat sich inzwischen als recht nützlicher Partner auf dem Arbeitsplatz erwiesen.

Die genannten Zufälle brachten einige Probleme, und im Ergebnis sind die Spannungsbereiche mit maximal etwa 2% Toleranz in der Anzeige behaftet. Das braucht sich zwar vor bisher üblichen Analoggeräten nicht zu verstecken, muß aber nicht so sein – wenn man in den Schaltern etwas mehr Aufwand treibt. Im Grund genügt es schon, für den U/R-Umschalter noch eine Schaltstelle mehr zu haben, also das Gerät insgesamt etwas zu modifizieren. Die Leiterplatten selbst bleiben verwendbar. Umgekehrt zeigt die Lösung, wie flexibel man sich bisweilen einer Aufgabe stellen kann.

Der Anzeigemodul erhielt in der bereits beim Minimeter vorgestellten Art eine hochohmige Eingangsbeschaltung. Sie wurde auf der Leiterseite untergebracht. Damit der Teilereinfluß auf diese Beschaltung gering genug bleibt, fiel die Entscheidung auf einen Eingangswiderstand von 1 MΩ für alle Spannungsbereiche. Die sich daraus ergebende Außenbeschaltung und die Verknüpfung der Bausteine geht aus Bild 23 hervor. Die begrenzte Tastenschalterkontaktzahl brachte in den Spannungsbereichen den Effekt, daß der 9,1-MΩ-Widerstand des R_M-Teilers parallel zum gerade eingeschalteten oberen Meßteilerwiderstand geschaltet bleibt. Das bringt etwa 1,1fache Anzeige. Der Kompromiß bestand nun darin, diese »Überspannung« mit einem Teiler 1 MΩ zu 10 MΩ vor dem Anzeigemodul (nur in Stellung »U«) auf etwa den Nennwert zu dämpfen. Es genügt ein Kontakt mehr auf dem Umschalter U/R, um diesen unerwünschten Pfad zu unterbrechen und diesen Teiler einzusparen. Diese Stelle ist im Stromlaufplan nach Bild 23 gekennzeichnet.

Aus der Verknüpfungsschaltung leitet sich die Leiterplatte für diese Funktionen ab, in Bild 24 bezogen auf ein Aggregat mit eben nur je 2 Umschaltern je Taste, mit 4 abhängig rastenden Kontakten und 1 unabhängig rastendem Kontakt. Vorhanden war nur ein Taster mit 3 abhängig und 2 unabhängig rastenden Kontakten und mit so kurzen Anschlüssen, daß er gerade in umgekehrter Reihenfolge montiert werden mußte. Da der Amateur bisweilen vor solchen Problemen steht (sogar das Absägen zu langer Schalterelemente gehört manchmal zum Bau »individueller« Einzelstücke), gibt Bild 25 Hilfestellung für den Umbau. Man muß zunächst das zwischen den Tasten erkennbare Arretierungsstück so verschieben, daß die Schaltstreifen herausspringen (festhalten!). Danach löst man vorsichtig die seitliche Flachfeder und zieht die Schaltkulisse heraus. Sie hat für die unabhängig rastenden Tasten rechteckige Ausschnitte gemäß Bild 25 und für die anderen eine Ecke innerhalb dieser Öffnungen. Es fällt nicht schwer, die überflüssige Ecke herauszufeilen. »Hineinfeilen« dagegen geht nicht. Schon ein 40-W-Lötkolben und etwas Messingblech können aber helfen.

Man schabt besonders die Kanten der Kulisse an der einzupassenden Ecke blank und verzinnt sie. Danach wird ein etwa 2 mm × 2 mm großes Messingblechstückchen (möglichst etwa von der Dicke des Kulissenstreifens) verzinnt und mit einer spitzen Pinzette und dem Lötkolben eingepaßt. Den Rest besorgt die Feile. Beim Autor hat das Demontieren, Einpassen und Neumontieren weniger als eine Stunde gedauert. Aber Achtung: Für den vierten abhängigen Kontakt braucht man aus einem anderen Schalter einen mit entsprechender Zahnung an der Kunststoffstange! Beim unabhängig rastenden fehlt das. Die anderen Streifen zeigen, was gebraucht wird. Notfalls sägt man einen längeren paßgerecht ab. Abhängig rastende Taster sind öfter billig zu haben als genau der »Traumtyp«. Im übrigen kann man auch einen Schalter mit 4 abhängigen Tasten einbauen und von vornherein den fünften als Einzeltaste mit 4 statt 2 Umschaltern extern einbauen. Dadurch läßt sich auch der elektrische Kompromiß des Beispiels umgehen.

Die Gesamtschaltung hat noch einige Extras, die man nicht unbedingt alle benötigt. Eindeutiges Beschriften, z. B. mit »typofix«-Symbolen, reicht auch aus. Das durch die Fotos belegte Modell hat u. a. 4 Miniaturleuchtdioden. Von oben nach unten zeigen die ersten 3 an, welcher Widerstandsbereich eingeschaltet ist: grün für MΩ (9,99 MΩ; alle Schalter ausgelöst), gelb für kΩ (3 Bereiche: 999 kΩ; 99,9 kΩ; 9,99 kΩ!), rot für Ω (1 Bereich). Die 4. Leuchtdiode signalisiert, ob die Wahltaste auf U-Messung steht.

Man beachte: In Stellung »R« zeigt die Anzeige ohne angeschlossenen R_X oder für $R_X > R_M$ Überlauf an! Bei den U-Bereichen muß immer eine Wahltaste gedrückt sein, da hier der Stellung »alle Tasten ausgelöst« kein Bereich zugeordnet ist. Die Anzeige wirkt in diesem Zustand sehr unruhig, während sie sonst »steht«. Nicht verzichten sollte man auf die mit nur jeweils einem Tastenkontakt realisierte Nullpunktansteuerung. Da 9,99 V und 99,9 kΩ z. B. über dieselbe Taste angewählt werden, muß eine Zusatzsteuerung über die R-U-Wahltaste der »Dezimalpunkt-Diodenlogik« mitteilen, was nun eigentlich gemeint ist. Bei den heutigen Preisen für Amateurbauelemente erscheint der Aufwand von 3 Transistoren und 13 Dioden für die Steuerung der Dezimalpunkte und der Bereichsinformationen nicht zu hoch. Eine 14. Diode gleicht die Potentiale im Bereich »999 V«, der allerdings aus Sicherheitsgründen nicht wesentlich über 100 V benutzt werden sollte, so an, daß nicht die rote Leuchtdiode die gelbe unterdrückt. In diesem Fall sind sicherlich mit einem Widerstand noch günstigere Verhältnisse möglich, damit Rot und Gelb zusammen leuchten und dadurch auf die soeben erwähnte Spannungsproblematik hinweisen. Im Mustergerät blieb für die beiden Eingangsbuchsenpaare gerade noch etwas Platz im unteren Teil der Frontplatte. Es dürfen nur jeweils die Buchsen an Objekte angeschlossen sein, mit denen auch gerade gearbeitet werden soll!

Die Frontplatte hat neben einer Öffnung für den Nullpunktabgleich des Anzeigemoduls und dem Ausschnitt für die Anzeigen 4 Bohrungen für die Bereichsleuchtdioden. Über 2 weitere Bohrungen (neben einer Aussparung für die Leitung zum externen Klingeltransformator) in der Rückwand sind Nullpunkt und Ausgangsmaximalwert des Ohmmetermoduls zugänglich. Das Potentiometer für den Maximalwert befindet sich leiterseitig auf der Bereichswahlplatte; eine Bohrung in dieser Platte gibt den Weg frei für das Ohm-Nullpunktpotentiometer.

4.5. Abgleich

Der Anzeigemodul wird am besten zunächst für sich allein mit einem Vergleichsinstrument in seiner Verstärkung (linkes Potentiometer bei Draufsicht) abgeglichen. Vorher muß der Nullpunkt eingestellt worden sein. Wird der Modul direkt und an niederohmigen Meßwandlern betrieben, schließt man einfach die Eingänge kurz. Trägt er die hochohmige Eingangsbeschaltung, muß der Nullpunkt sich auf den »Ruhewert« in Verbindung mit dem Meßteiler beziehen, d. h., dann schließt der nicht mit einer Meßspannung belegte Teiler den Eingang über dessen Vorwiderstand ab. In diesem Fall liegt also ein Widerstand in der Größenordnung von 2 MΩ als »Abschluß« zwischen 10 und 11 des C 520 D, und am Eingangskondensator (10 nF) stellt sich eine geringe Fehlspannung ein. Man vergleiche dazu die gegebenen Informationen zu dieser Beschaltung.

Nach Nullabgleich erhält der Modul eine genau bekannte Meßspannung zugeführt, deren Wert möglichst nahe dem Maximalanzeigewert liegt. Am V-Potentiometer wird nun auf diese Anzeige abgeglichen. Später wird – vielleicht thermisch bedingt – bisweilen ein geringfügiges Nachstellen des Nullpunkts nötig sein. Dafür gibt es dann die vordere Gehäuseöffnung.

An den abgeglichenen Anzeigemodul wird nun der Ohmmetermodul angeschaltet. Sein Mikrotaster ist zu betätigen (nicht statt seiner Eingangsbuchsen kurzschließen!), und am Nullpunktpotentiometer des Ohmmoduls (untere Öffnung der Rückwand) wird auf Anzeige 000 eingestellt. Danach legt man einen zum eingeschalteten Bereich passenden Widerstand an die R-Buchsen und gibt den Taster frei. Am obenliegenden Potentiometer auf dem Bereichsmodul stellt man diesen Wert in der Anzeige ein. Das ist alles.

5. »typofix«-Folie zum Bauplan

Es wird wieder ein A5-Blatt mit den Leiterplatten dieses Bauplans geben. Zum Zeitpunkt der Manuskripterarbeitung steht – wie immer – seine genaue Aufteilung noch nicht fest. Um die Panne bei Bauplan 52 nicht zu wiederholen (im Inhaltsverzeichnis genannter Abschnitt zur Folie fehlte dort ganz), soll es diesmal bei dieser knappen, aber positiven Aussage bleiben.

1. Auflage · © Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik (VEB) – Berlin, 1984 · Lizenz-Nr. 5 · LSV: 3539
Lektor: Wolfgang Stammler · Zeichnungen: Manfred Schulz · Typografie: Helmut Herrmann · Printed in the German Democratic Republic · Gesamtherstellung: Grafischer Großbetrieb Sachsendruck Plauen · Redaktionsschluß: 31. Juli 1983 · Bestellnummer: 746 582 5 · 00100

Nullpunktabgleich	9	8	Nullpunktabgleich
Eingang L (IL)	10	7	Masse (⊥)
Eingang H (IH)	11	6	Betriebsarten-Umschaltung
Integrations-C	12	5	LSD (letztes Digit)
Endwertabgleich	13	4	MSD (höchstwertiges Digit)
Betriebsspannung	14	3	NSD (mittleres Digit)
BCD-Ausgang OC	15	2	BCD-Ausgang OA
BCD-Ausgang OD	16	1	BCD-Ausgang OB

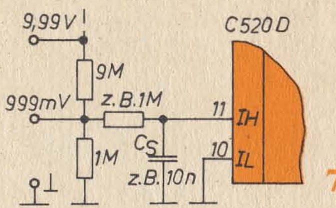


Bild 1
Übersichtsdarstellung des C 520 D

Bild 2
Anschlußbelegung des C 520 D

Bild 3
Eingangsspannungsverlauf am Komparator des C 520 D (△ U – Nullpunktverschiebung, Δt – Endwertverschiebung); nach »radio-fernsehen-elektronik« Heft 12/1982, Seite 773 bis 776

Bild 4
C_S wirkt als Quasi-Kurzschluß für den nur etwa 1 ms lang fließenden Eingangsstrom und entlädt sich danach etwa 200 ms lang über R_S und R_i des Prüflings

Bild 5
Der Fußpunktwiderstand des Meßteilers sichert vollständige Entladung von C_S bis zum nächsten Eingangsstromimpuls, unabhängig von R_i des Prüflings. C_2 belastet jedoch den Prüfling

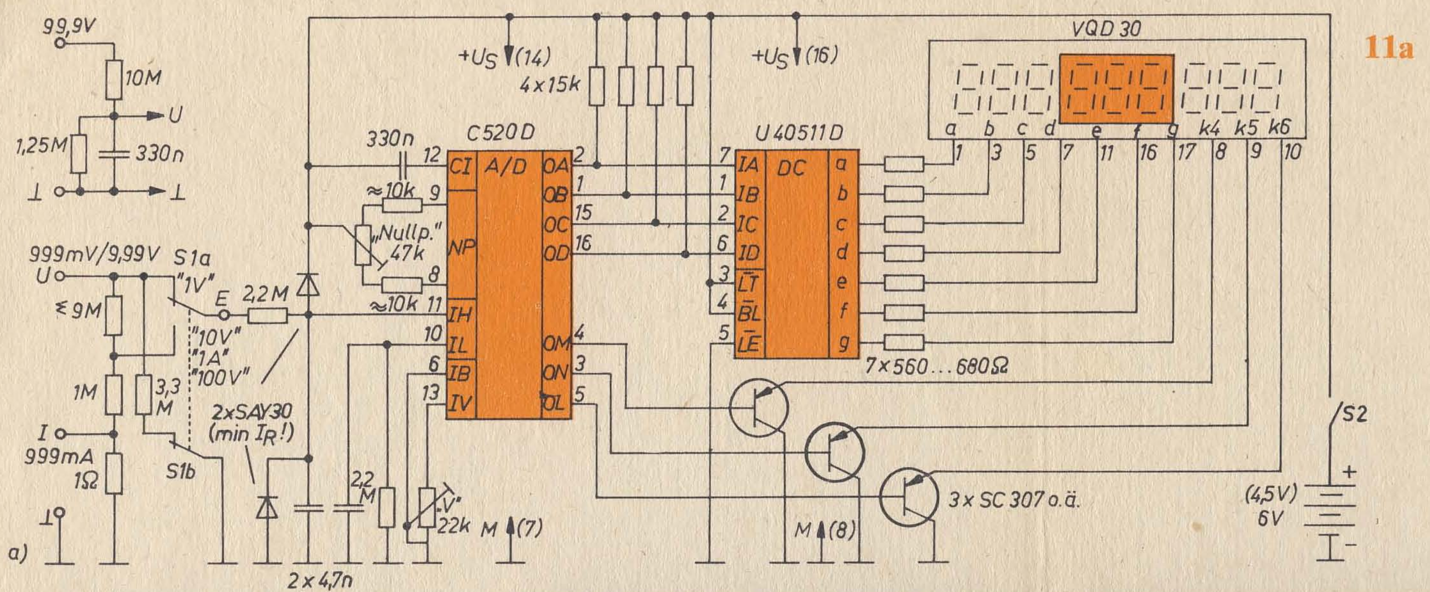
Bild 6
Noch unvollkommene Entkopplung von C_s und Prüfling

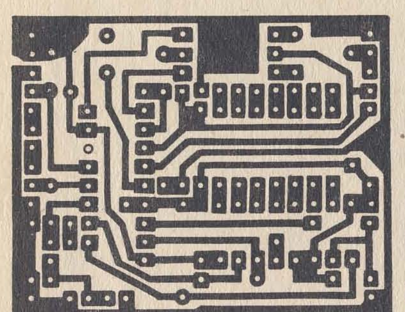
Bild 7
Bei dieser Variante wird unvollständige Entladung von C_S zugelassen, je nach Schaltkreisexemplar. Dafür ergibt sich ein wesentlich höherer R_E. Grundwertabgleich über Nullpunktpotentiometer

Bild 8
Durch das Zuschalten von z. B. 3,3 bis 4,7 MΩ verringert sich der den Nullpunkt verschiebende Widerstandshub bei Bereichsumschaltung erheblich, ohne daß R_E wesentlich kleiner wird

Bild 9
a – Teilergestaltung des Mustergeräts für die internen Bereiche 9,99 V, 999 mV und 999 mA,
b – Aufsteckwiderstandskombination für 99,9 V (individuell abgleichen, keine Präzisionslösung!)

Bild 10
Dezimalpunktanzeige im Bereich 9,99 V unter Nutzung des vorhandenen Schalters

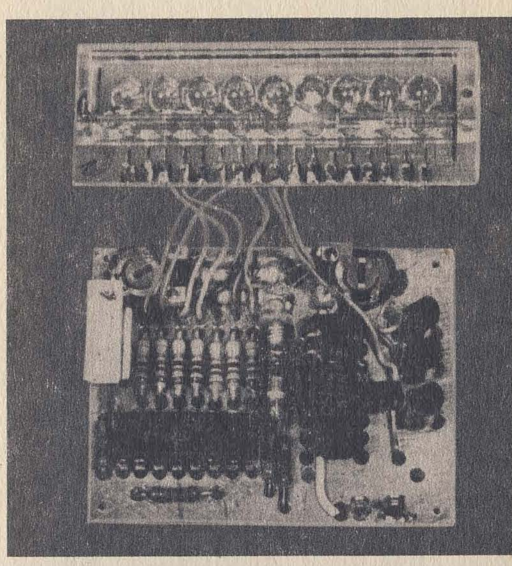




Nullpunkt
Verst.(Endw.)
47k
6,8k
2,2M
6,8k
22k
4,7n
7x560...680Ω
0,33µ
U40511D
C520D
22M
15k
15k
15k
15k
LSD
MSD
NSD
(47µ bei Bedarf)
c)
50

11c

Bild 11
Gesamtschaltung des realisierten Minimeters mit Schaltkreisschutzbeschaltung gegen höhere Spannungen

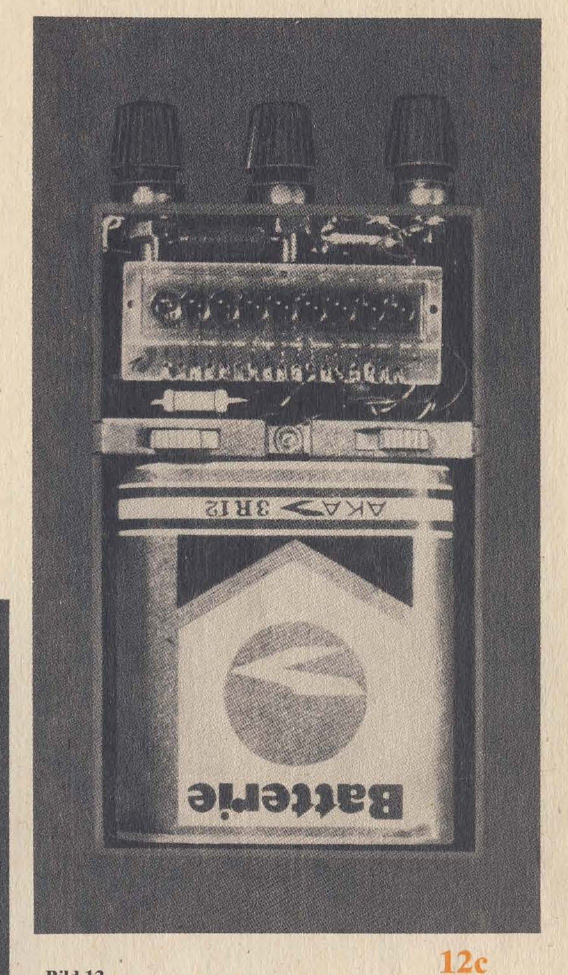




12a

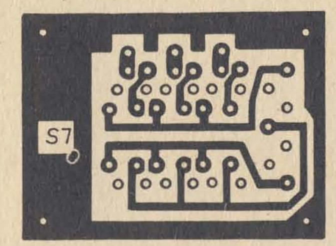


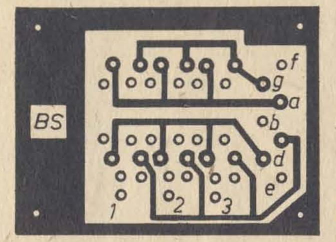
12b

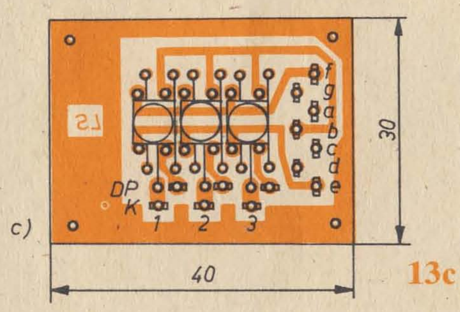


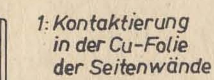
12c

Bild 12
Bestückte Leiterplatte (a), 330 n hochgeklappt, und Ansichten eines Funktionsmusters des Minimeters nach Bild 11 mit anklemmbarer Stütze aus PVC für schräge Gebrauchslage









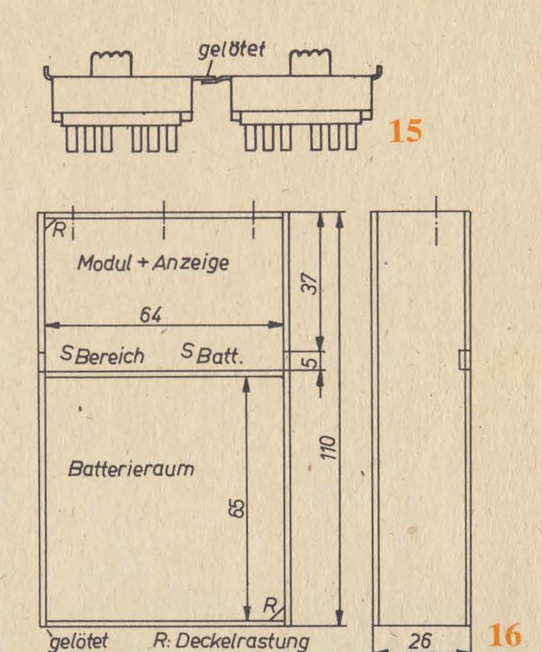


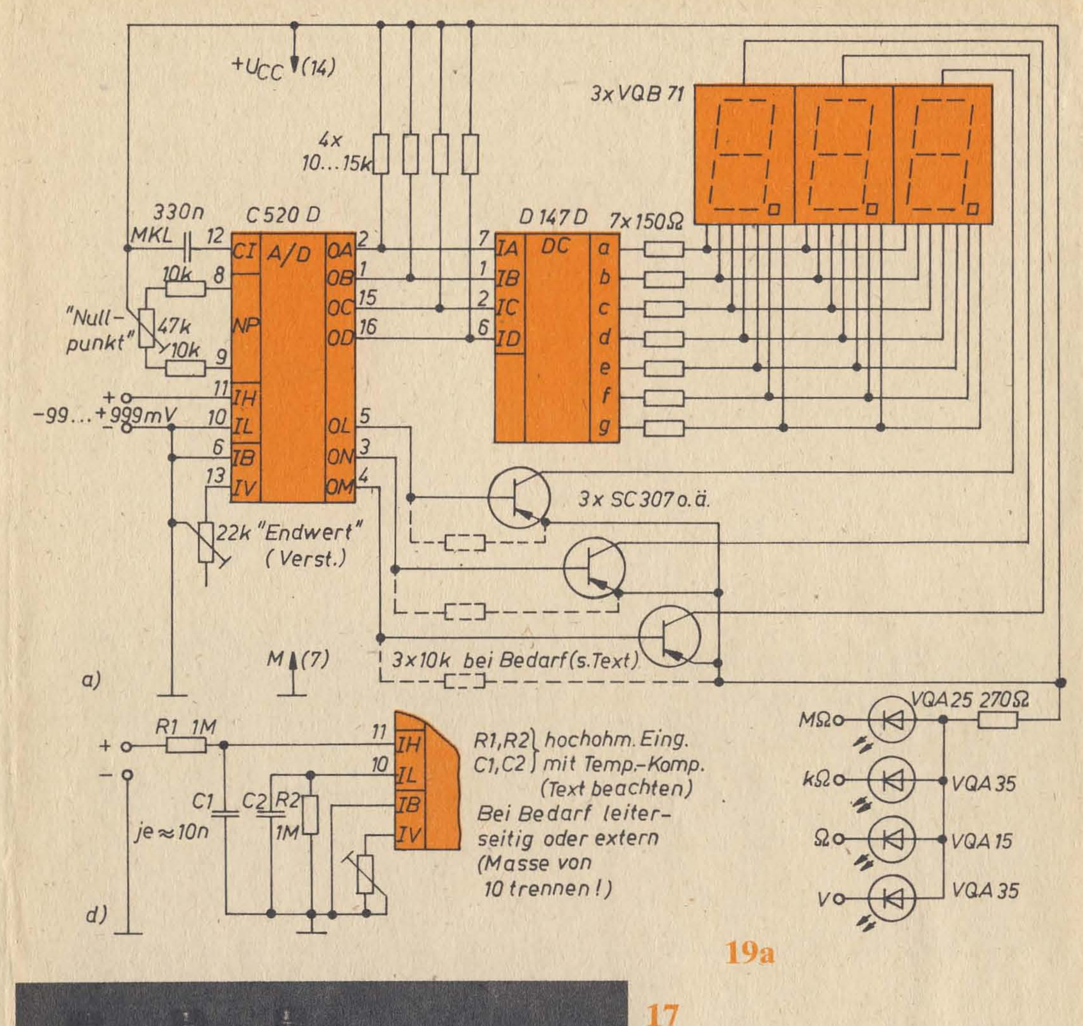
Bild 13
Anzeigeleiterplatte für 3 × VQB 37 (2seitiges Leiterbild erforderlich!)

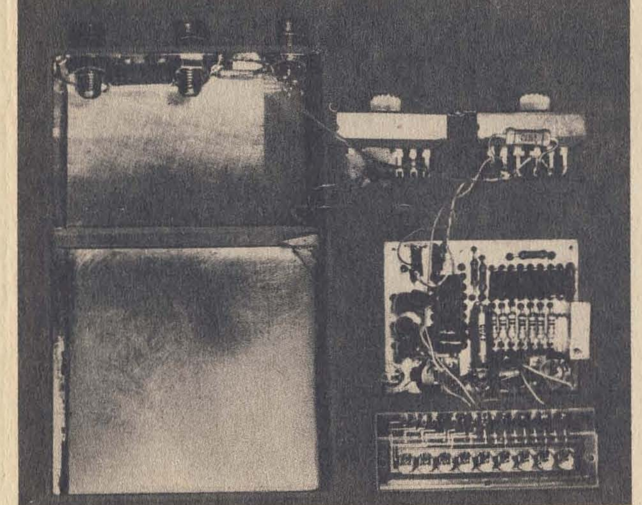
Bild 14
a – Vorschlag für Einsatz von 2 Bleiakkumulatoren zu 0,5 Ah in die Batteriekammer des Minimeters, b – Gestaltung der Stirnplatte mit den 3 Gerätebuchsen für Masse, Strom und Spannung

Bild 15
So werden die beiden Simeto-Schalter mechanisch verbunden und für den Einsatz im Gehäuse vorbereitet

Bild 16
Hauptabmessungen des Mustergeräts (auch für Flachbatterie statt 2 × Akkumulator geeignet)

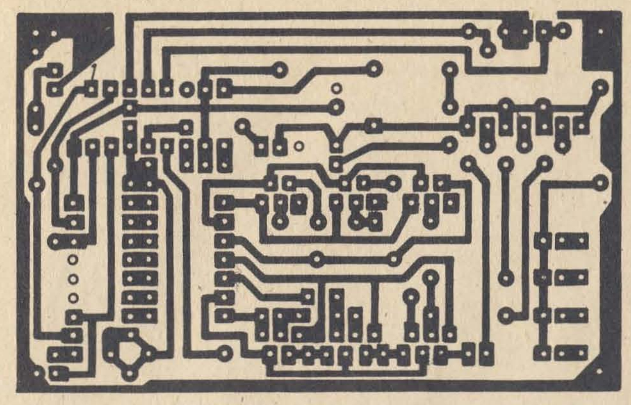
Bild 17
Aus diesen Teilen besteht das Mustergerät





18

U40511 D
z.B. VQB 37
MSD
a
g
a
g
DP
+
R_E (≈1k)
≈10k
vom C520 D (MSD)
"10V"
"1V"
S1b (s. Bi 10)
a)



19b

19c

80

3x VQB 71 mit
(leiterseitig flach) darunterliegenden Brücken!

15k 330n
15k
D147D
7x
150Ω
15k
15k
10k
C520D
22k
V
22n
47k
O-P
≈10k
47µ
gn ge rt ge
MΩ
kΩ
Ω
V
270Ω
c c c
b b b
e e e
3xpnp
(flach
legen!)

vom
Regler-
Baustein
⊕
5V
⊥
c)

bei Bedarf
(leiterseitig)

L u. H leiterseitig
anschließen

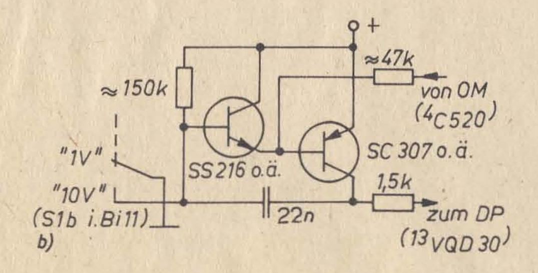
Für Leitungsbündel
zu den Buchsen

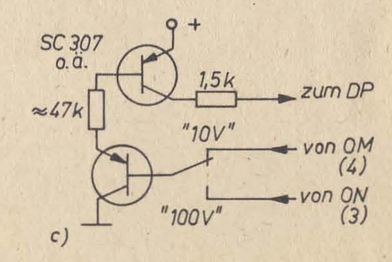
3x10k bei Bedarf

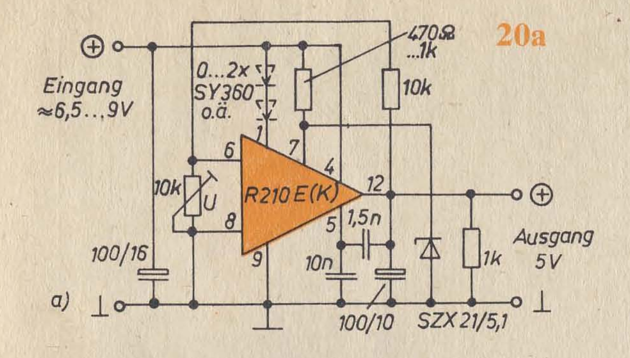
Bild 18
a – Kommaschalter für den Bereich 9,99 V bei Display mit VQB 37; b – für Minimeter geeignete Variante (Dezimalpunkt nur für 9,99 V); c – Vorschlag für Bereiche 9,99 und 99,9 V bei frei verfügbarem Schalterteil

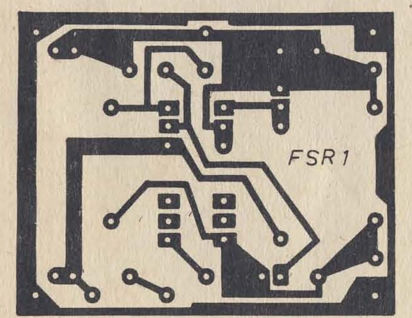
Bild 19
Anzeigemodul für vorwiegend stationären Betrieb: a – Stromlaufplan, b – Leiterbild, c – Bestückungsplan, d – hochohmiger Eingang mit Temperaturkompensation

0k
"1V"
S1b
(s. Bi 10)









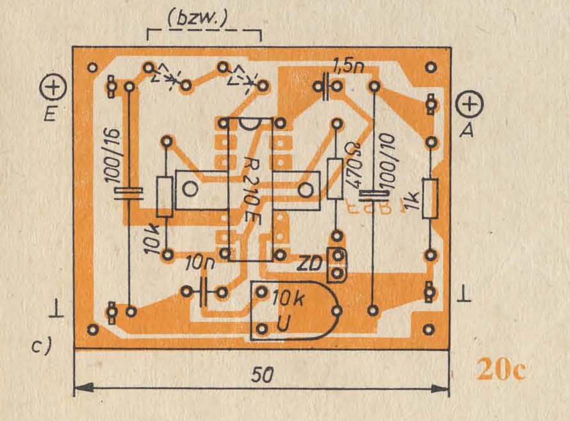


Bild 20
Festspannungsregler für TTL-Spannung und für Betrieb an 6-V-Klingeltransformator über einfache Gleichrichtereinheit (SY 360, 2200 µF); a – Stromlaufplan, b – Leiterbild, c – Bestükkungsplan (s. Bauplan 42!)

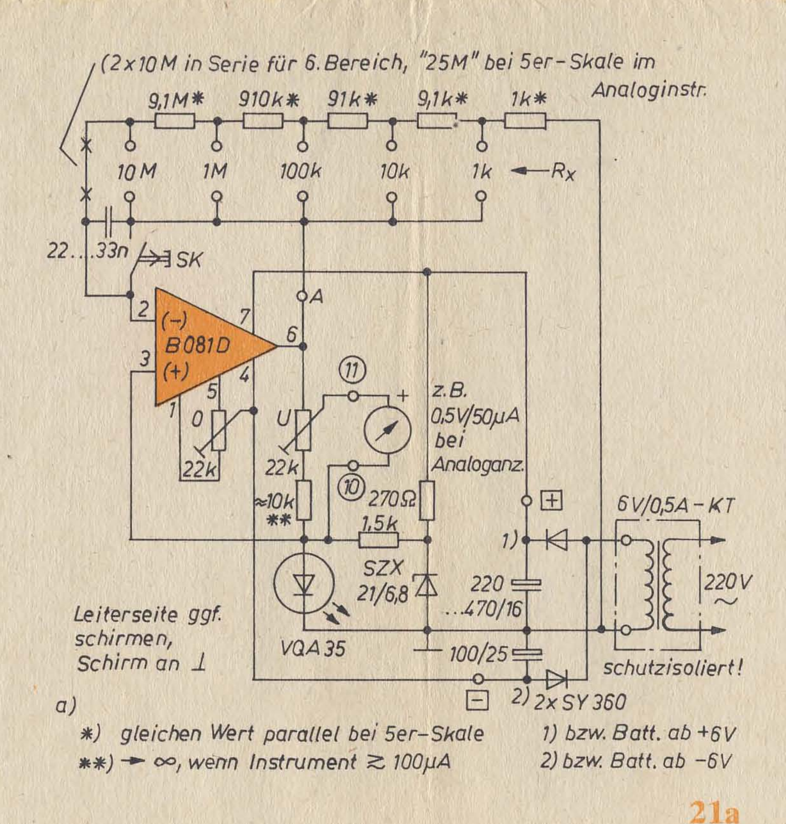
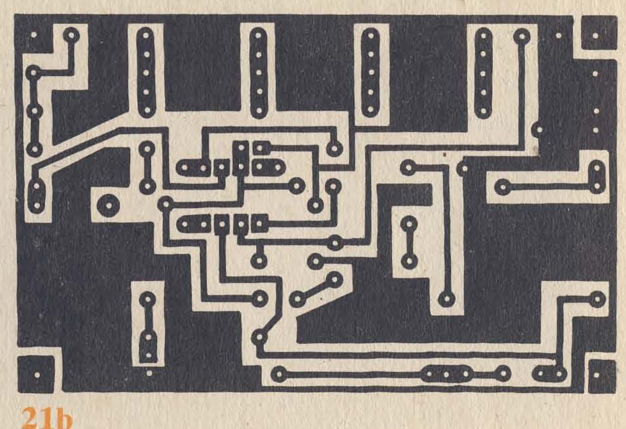
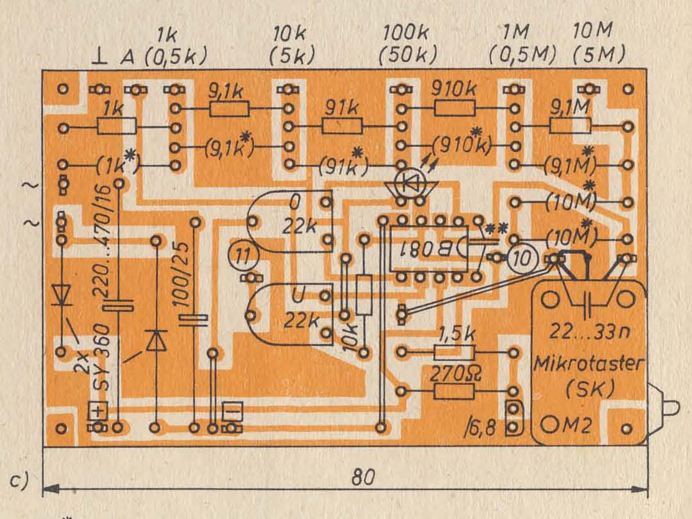


Bild 21
Lineares Ohmmeter für Betrieb aus 6-V-Klingeltransformator und für wahlweisen Anschluß eines 50- bis 100-µA-Instruments oder eines Digitalvoltmeters; a – Stromlaufplan, b – Leiterbild, c – Bestückungsplan (Potentiometer am Ausgang bei DVM-Betrieb nicht erforderlich, s. Text!)





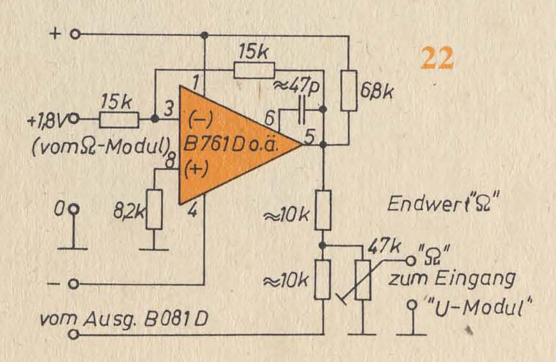
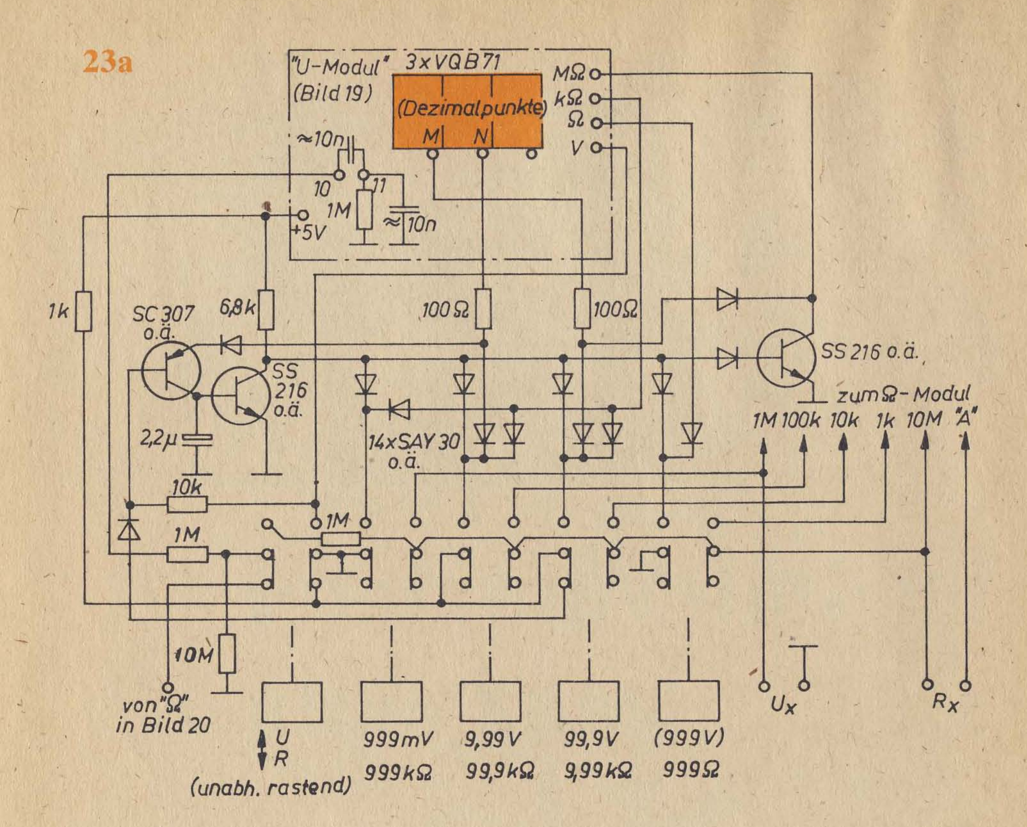


Bild 22
Potentialverschiebung zum Anpassen des Ohmmodulausgangs an ein 1seitig geerdetes DVM



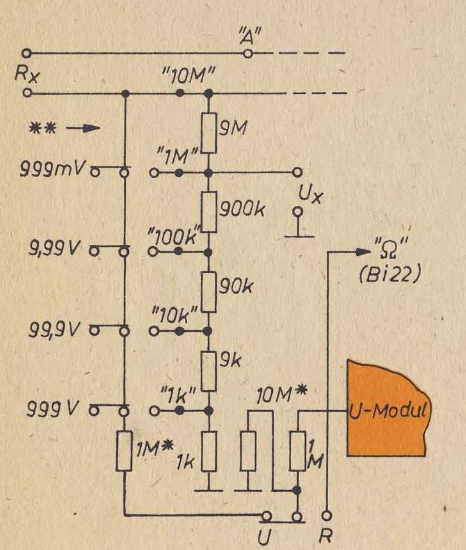


Bild 23
a – Bausteinverknüpfung für ein digitales Volt- und Ohmmeter, b – zur Verdeutlichung der R-Teiler-Doppelausnutzung (Auszug von Ohm- und Schaltermodul)

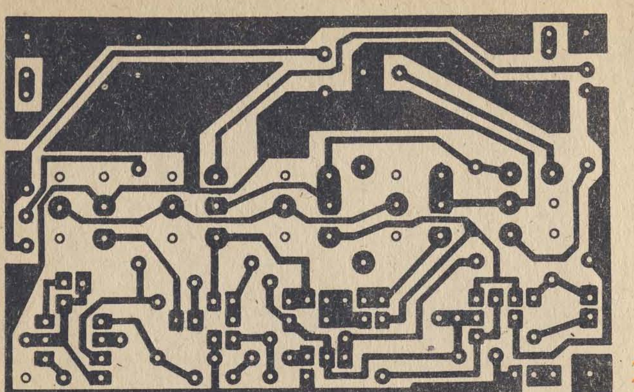
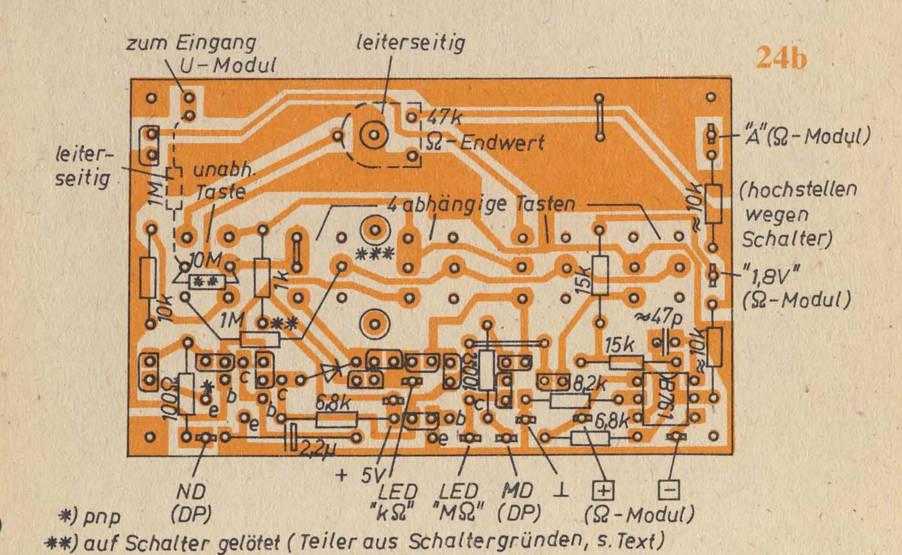


Bild 24
Leiterplatte für die Verknüpfungen nach Bild 23; a – Leiterbild, b – Bestückungsplan



25

unabh.

abhängig rastend

Bild 25
Kulisse eines Tastenschalters

Bild 26
Richtabmessungen für Gehäuse und Montage

26

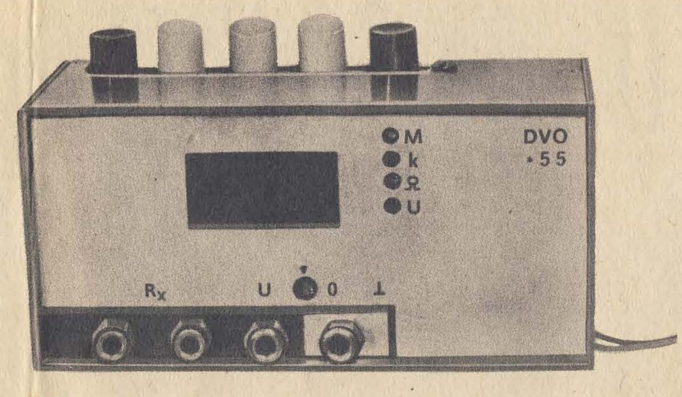
Buchsen innen ganz anschrauben!

Material:
Platten 1,5 dick Ceva 2-seitig Cu

Tastenbaugruppe li. unten ggf. abstützen, da kein Platz für li. Gewindelasche.

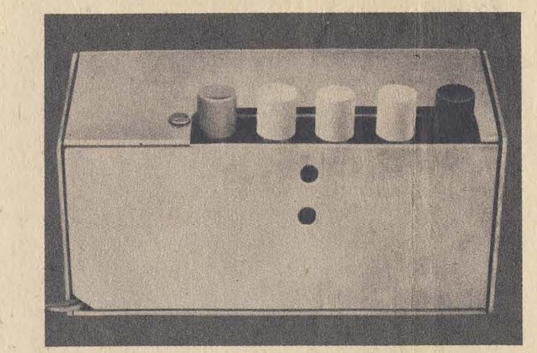
Maße an Baugruppe

27

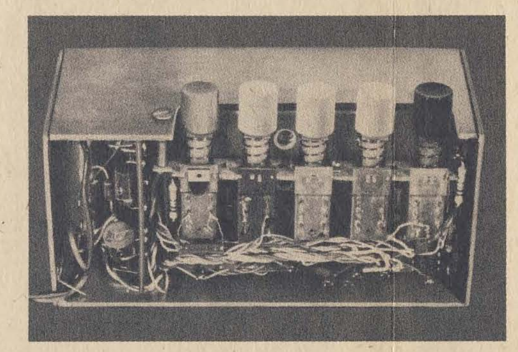


27a

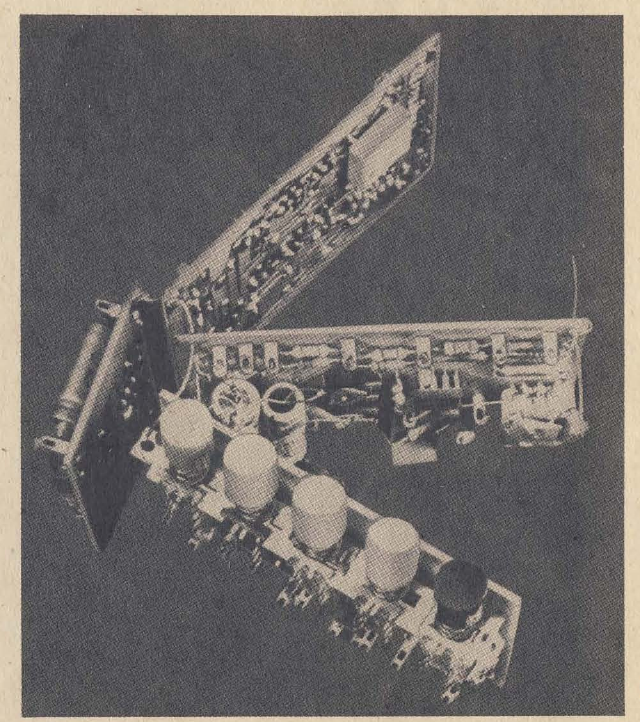
Bild 27
Ansichten des Fertiggeräts. Die Module sind über 0,8 mm dicke Kupferdrähte in 2 Ecken fest und über einen dritten lös- und klappbar verbunden. Das erleichtert Arbeiten am Gerät



27b

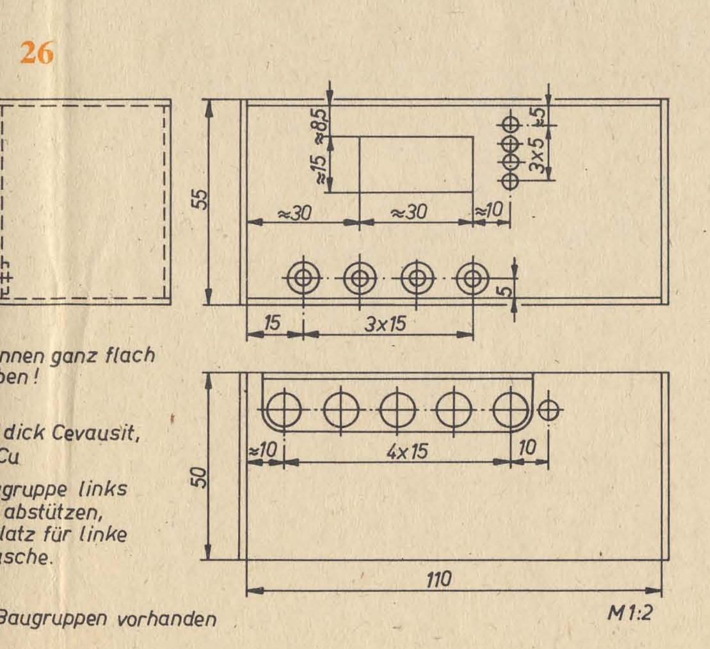


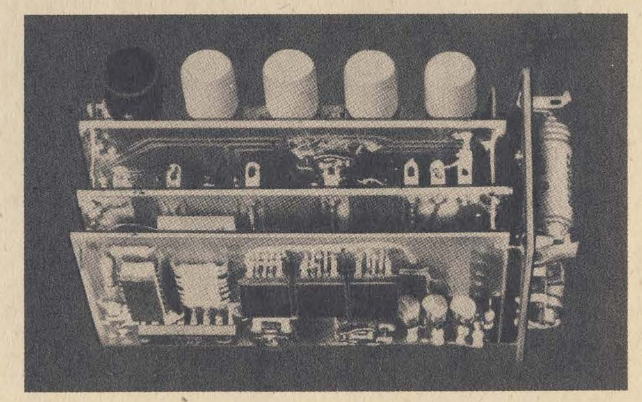
27c



27e

26





27f

27d



MILITÄRVERLAG
DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK
(VEB) – BERLIN